

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El pavimento de concreto surge como una alternativa viable tanto técnica como económicamente para la construcción de vías, teniendo en cuenta las características de duración y calidad presentes en el material, cuya resistencia se ha venido mejorando a través del tiempo con el empleo del refuerzo. Los pavimentos rígidos presentan gran variedad de aspectos favorables frente a las otras técnicas, estos requieren de poco mantenimiento y puede su vida útil llegar a ser mayor de 50 años, aunque presentan también rasgos negativos, ya que son en gran medida vulnerables a factores ambientales como la humedad, la erosión y la temperatura principalmente.

En este trabajo se pretende mostrar el uso de losas ultradelgadas como una alternativa para el asfaltado de calles previamente establecidas como vías de bajo tráfico, dando a conocer sus características generales y exponiendo la importancia que tiene este método constructivo como una innovación.

Las investigaciones que se vienen dando desde mediados del siglo XX, han desarrollado nuevos y mejores sistemas referentes al concreto aplicado a dicho tipo de losas. Uno de los grandes aportes es la adición de fibras de sintéticas y metálicas a las mezclas. El concreto, como se ha estudiado extensamente, resiste potencialmente esfuerzos a compresión, sin embargo, falla críticamente en presencia de esfuerzos a tracción. La adición de las fibras, hace que propiedades específicas del concreto, como por ejemplo la resistencia a esfuerzos de flexión, se optimicen. Es por esto que se pretende aplicar dichas fibras en una losa con un espesor menor al establecido para saber cómo es que estas ayudan a mejorar su función.

Se expondrá los cambios que se generan en las mezclas de concreto al utilizar fibras presentes en el mercado boliviano y de esta manera observar los resultados de los esfuerzos entre los dos tipos de fibras.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los grandes volúmenes de concreto que se producen actualmente en la industria de la construcción hacen que se realicen mejoras u optimizaciones en la tecnología del mismo ya que los recursos para la producción del concreto aumentan su valor cada vez más. Es por esto que diferentes investigaciones relacionadas a la aplicación de concreto reforzados con fibras sintéticas y metálicas para pavimentos rígidos implican mejoras en el material concreto y, a su vez optimizaciones en los diseños de dichas estructuras.

La optimización de procedimientos constructivos es un punto crítico en cualquier pavimento, por ende, cada vez se tiene que realizar más rápido la entrega de proyectos; la incorporación de fibras de una manera sencilla ayuda al procedimiento constructivo de la losa.

Los pavimentos rígidos no se comportan de manera constante al transcurso del tiempo ya que, al ir deteriorándose, disminuye la serviciabilidad y podría darse el caso de comprometer estructuras a las cuales está soportando el pavimento. Por ello se debe adoptar nuevas metodologías como es el caso de uso y aplicación de fibras dentro del diseño y construcción de losas ultradelgadas para bajo tráfico. Proyectos de gran magnitud poseen la necesidad de realizar mejoras mecánicas y físicas en el concreto para diferentes solicitaciones, evitando así diferentes fallas, optimizando costo y tiempo. Es por ello que el presente trabajo se enfocará en verificar y observar las mejoras brindadas por la adición de fibras sintéticas y metálicas al hormigón convencional, para así tener nuevas consideraciones en los futuros diseños.

Las fibras tienden a minimizar la disgregación de los áridos. Esto reduce la pérdida por rezagues lo que significa un ritmo más lento de secado y en consecuencia la fisuración por retracción también se reduce. En el hormigón endurecido, estas fibras actúan como reductoras del efecto superficial de craquelado (cracking). Como refuerzo secundario, también tienden a evitar que las fisuras se propaguen al contribuir a mejorar la compacidad del hormigón, haciendo que una posible fisura no se extienda o aumente de espesor, pero, sobre todo, puesto que las fibras se distribuyen por todo el hormigón, son eficaces como puente allí donde es común que las fisuras comiencen.

La ingeniería se encuentra en constante evolución, tal es así que se han incluido nuevos conceptos como es el caso de pavimento ultradelgado que es una alternativa de pavimento que brindara mejor comportamiento que los diseños tradicionales, el fin de este método no es solo de reducir costos en materiales sino también optimizar el tiempo de construcción y que puede trabajar de manera eficiente en carreteras de bajo volumen vehicular.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problémica

Las condiciones que presenta el tramo Viscacheral-Resistencia son poco transitables para los habitantes de la zona, los cuales viven principalmente de la crianza de ganado y necesitan sacar su producto cada cierto periodo, todo este proceso sería más fácil si pudieran contar con mejores condiciones a la hora de transportarlos a la ciudad; así también existe la necesidad de proveerse de alimentos y otros artículos para sus hogares.

Muchas veces estos sectores son olvidados por ser una minoría, pero con los años pueden convertirse en un movimiento económico más para la ciudad, por esto se deben buscar otras opciones para promover su desarrollo.

Con el paso de los años investigaciones y avances tecnológicos han generado nuevos materiales que además de considerarse un avance como refuerzo mejoran en gran medida la durabilidad y el desempeño en pavimentos de concreto.

Adicionalmente y gracias al constante crecimiento en necesidades y frecuencias de carga en vías, carreteras, y demás estructuras de tránsito, es necesario mejorar el desempeño y garantizar una mayor durabilidad, que pueden obtenerse mediante el uso de pavimento rígido con fibras.

La rapidez en la colocación y las mejoras en el desempeño en el concreto han llevado a que la inclusión de las fibras en los diversos tipos de pavimento represente por sus cualidades, una solución para la industria del transporte.

El fin este documento es presentar el concreto reforzado con fibras sintéticas y metálicas como alternativa de solución para mejorar el comportamiento del concreto; ya que sus

diversas aplicaciones hacen que sea uno de los productos más solicitados por las ventajas que aportan al concreto. Las principales mejoras que proporciona la adición de fibras al concreto 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 concreto como acelerantes de fragua, incorporadores de aire, reductores de agua, superplastificantes, impermeabilizantes, entre otros; como también el tipo de refuerzo que complementa al concreto como varillas de acero, mallas electrosoldadas, entre otros.

La inclusión de fibras en el concreto incrementa sustancialmente la capacidad portante de la losa bajo acciones de flexión, por lo cual es posible admitir mayores requerimientos en aplicación de cargas repetidas (fatiga en carreteras) y magnitudes de carga (altos volúmenes de carga portuaria). Gracias a lo anterior es posible mejorar los espesores maximizando el desempeño del concreto.

Debe tenerse en cuenta que el espesor y el tipo de concreto son los parámetros predominantes que conducen a la velocidad de fisuración.

1.3.2. Problema

¿El uso de pavimentos ultradelgados de concreto con fibras sintéticas o metálicas es una solución alternativa para carreteras de bajo tráfico?

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar si mediante el uso de pavimentos ultradelgados de concreto mezclado con fibras sintéticas o metálicas son alternativas de solución para carreteras con bajo tráfico vehicular.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar los aspectos y fundamentos teóricos más relevantes sobre pavimentos rígidos y ultradelgados.

- Aplicar la teoría recolectada de ingeniería del tráfico para el levantamiento de datos, así obtener el tráfico promedio diario y anual para su aplicación en el método de la AASHTO 93 y PCA para pavimentos.
- Recolectar toda la información necesaria acerca de las características de las fibras sintéticas y metálicas.
- Determinar en laboratorio todas las características y propiedades de los componentes de un pavimento rígido, como son la capa de rodadura y subrasante.
- Analizar los resultados de la prueba de compresión simple y flexo-tracción del hormigón con fibras sintéticas y metálicas.
- Realizar un análisis de los resultados del espesor y resistencias de la losa ultradelgada adicionada con fibras.

1.5. HIPÓTESIS

Los caminos con bajo tráfico vehicular son en su mayoría son aquellas que unen pequeñas comunidades con las ciudades, estas representan una gran importancia para el desarrollo y calidad de vida para las personas y es por esto que con este tipo de pavimento ultradelgado reforzado con fibras busca ser otra solución para sectores que muchas veces no son tomados en cuenta por tener una población reducida.

1.6. DISEÑO METODOLÓGICO

1.6.1. Componentes

Figura 1.1. Componentes



Fuente: Elaboración propia

1.6.2. Unidad de estudio

El pavimento rígido ultradelgado en vías de bajo volumen; viene a proporcionar accesibilidad a zonas residenciales, pueblos y zonas alejadas. Además, deben permitir el tránsito de diferentes tipos de vehículos durante todas las estaciones del año, asegurar una movilidad y velocidad adecuada, garantizar seguridad a peatones, vehículos motorizados y controlar la emisión de polvo. Una parte importante de los caminos de bajo volumen de tránsito se encuentra generalmente, en las estructuras de pavimento asfáltico relativamente delgadas, sobre suelos arcillosos y arcillo-expansivos. Para un proyecto de inversión en un camino de bajo volumen de tránsito se requiere en la actualidad cumplir con estándares mínimos de diseño geométrico, señalización y una ingeniería de diseño estructural de pavimentos adecuada que permita garantizar la durabilidad de la solución obtenida y a su vez justificar económicamente esa solución.

La característica que identifica los pavimentos de concreto y de la cual derivan buena parte de sus propiedades y ventajas es su alta rigidez, por la cual le transmiten al suelo, las cargas y esfuerzos en áreas muy grandes.

Dado a que existe una necesidad de abordar y resolver problemas de una cantidad muy elevada de caminos de bajo volumen de tránsito, se deben considerar soluciones intermedias con estándares geométricos y estructura de pavimento menores a los mínimos, como los denominados “pavimentos ultradelgados”.

1.6.3. Población

Pavimento rígido ultradelgado con fibras en vías de bajo tráfico; el uso de fibras aparece como una alternativa técnico-económica para mejorar el desempeño del hormigón. Una de las aplicaciones del hormigón reforzado con fibras es la reparación o refuerzo de antiguos pavimentos. En la actualidad se dispone de fibras sintéticas y metálicas que pueden utilizarse en este tipo de aplicaciones en lugar de las tradicionales armaduras. Estos aparecen como una alternativa ya que los pavimentos de hormigón son estructuras propensas a la fisuración, tanto a edad temprana como en servicio, debido a su gran superficie expuesta y a las solicitaciones que reciben por acción del clima y las cargas del

tránsito, las cuales inducen a determinados esfuerzos frente a las restricciones externas (base o subbase) e internas.

1.6.4. Muestra

El pavimento rígido ultradelgado con fibras en vías de bajo tráfico aplicado a la provincia Gran Chaco; esta alternativa surge de la necesidad de hallar una solución no solo económica sino también rápida y que garantice el buen funcionamiento de la misma, para aquellas vías que aún no han sido pavimentadas, en especial para esas comunidades que se encuentran alejadas del centro de las ciudades que cuentan con un bajo volumen de tráfico.

El pavimento en estudio es el rígido ultradelgado que además cuenta con un componente adicional (fibras) el cual busca mejorar sus propiedades y características para hacer de este un pavimento que además de ser económico sea eficiente.

1.6.5. Muestreo

Se prevé realizar la aplicación de esta alternativa en estudio en el tramo de camino que comienza en la comunidad de Viscacheral a 25,50 km de la ciudad de Villa Montes, se eligió este tramo porque es poco transitable y es más usados por comunarios que viven en sus orillas y se hará un estudio de suelo para obtener el valor CBR de su subrasante para introducir en el programa para obtener el espesor del pavimento.

Se prevé realizar un aforo vehicular el cual tendrá una duración de 1 semana por 24hrs, para esta necesitaremos planillas para el conteo de vehículos, con todos estos datos se espera determinar si se trata o no de una vía de bajo tráfico.

Los materiales previstos para la elaboración del pavimento rígido son cemento Portland, los agregados pétreos serán traídos de la chancadora Capirendita de la ciudad de Villa Montes. Los instrumentos probetas, pala, mezcladora, varilla, badilejos, etc. serán proporcionados por el laboratorio de la universidad y finalmente las fibras sintéticas y metálicas serán adquiridas de la empresa Macaferri este proceso se realizará en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.7. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.7.1. Método seleccionado

El estudio de aplicación del presente trabajo se basará en el método deductivo, debido a que este es el que se adapta mejor al tema que se quiere exponer.

El método deductivo es aquel método científico que alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular. El método deductivo suele basarse en la observación y la experimentación de hechos y acciones concretas para así poder llegar a una resolución o conclusión general sobre estos; es decir en este proceso se comienza por los datos y finaliza llegando a un análisis, por lo tanto se puede decir que asciende de lo particular a lo general.

La metodología utilizada para la realización de este proceso puede resumirse en cuatro pasos, los cuales comprenden la observación de los hechos o acciones y registro de ellos, la indagación científica da inicio siempre partiendo de un fenómeno en particular, que no posee una explicación propia dentro de los posibles conocimientos científicos existentes en dado momento; luego viene la elaboración de una hipótesis o el análisis de lo observado anteriormente, aquí se forma una posible explicación y posible definición.

1.7.2. Técnicas

Técnica es un procedimiento o conjunto de reglas, normas o protocolos que tiene como objetivo obtener un resultado determinado y efectivo, ya sea en el campo de las ciencias, de la tecnología, del deporte, de la educación o en cualquier otra actividad.

Aforos y mediciones.- Es el conteo de vehículos, el aforo es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza, esto para cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o intersección, con el objetivo de poder calificar si se trata de una vía de bajo tráfico.

Trabajo en laboratorio.- Es el proceso que se llevará a cabo para la construcción de las probetas, en el laboratorio de la universidad, esto con el objetivo de verificar la resistencia del concreto reforzado con fibras sintéticas y metálicas.

Trabajo en gabinete.- Es el que se realiza después de la recolección de todos los datos necesarios, que consiste en obtener materiales y documentos a través de la información oral o visual de otras personas o fenómenos naturales.

Con la finalidad de cumplir con el objetivo general del estudio de aplicación, se realizará el uso de las técnicas mencionadas anteriormente, ya que con el aforo y pruebas de laboratorio se obtendrán los datos, los cuales son necesarios para el uso en el trabajo en gabinete para realizar los cálculos correspondientes.

1.7.3. Proceso metodológico

Esta aplicación contará con 3 partes importantes, los cuales son:

Primera parte

Recolección de información sobre los conceptos más relevantes.

Segunda parte

Se realizará de la siguiente manera la medición del tráfico vehicular:

Indicar los accesos que se deberán tomar en cuenta para el conteo de volúmenes.

Se debe aforar el volumen las 24 horas del día, en cada uno de los diferentes accesos de la zona de estudio.

El aforo será realizado por una semana.

Con los datos obtenidos del aforo vehicular se procede a realizar el trabajo de gabinete, para la obtención de resultados de lo que se requiere según la información recolectada.

Tercera parte

Se llevará a cabo el trabajo de laboratorio de la siguiente manera:

Se seleccionarán los materiales a usar como son la grava, arena y cemento, además de eso se realizarán todas las prácticas necesarias para conocer todas sus propiedades y características.

Se construirán las probetas de hormigón tanto de fibras sintéticas como metálicas, siguiendo como guía la ACI-211 y norma ASTM.

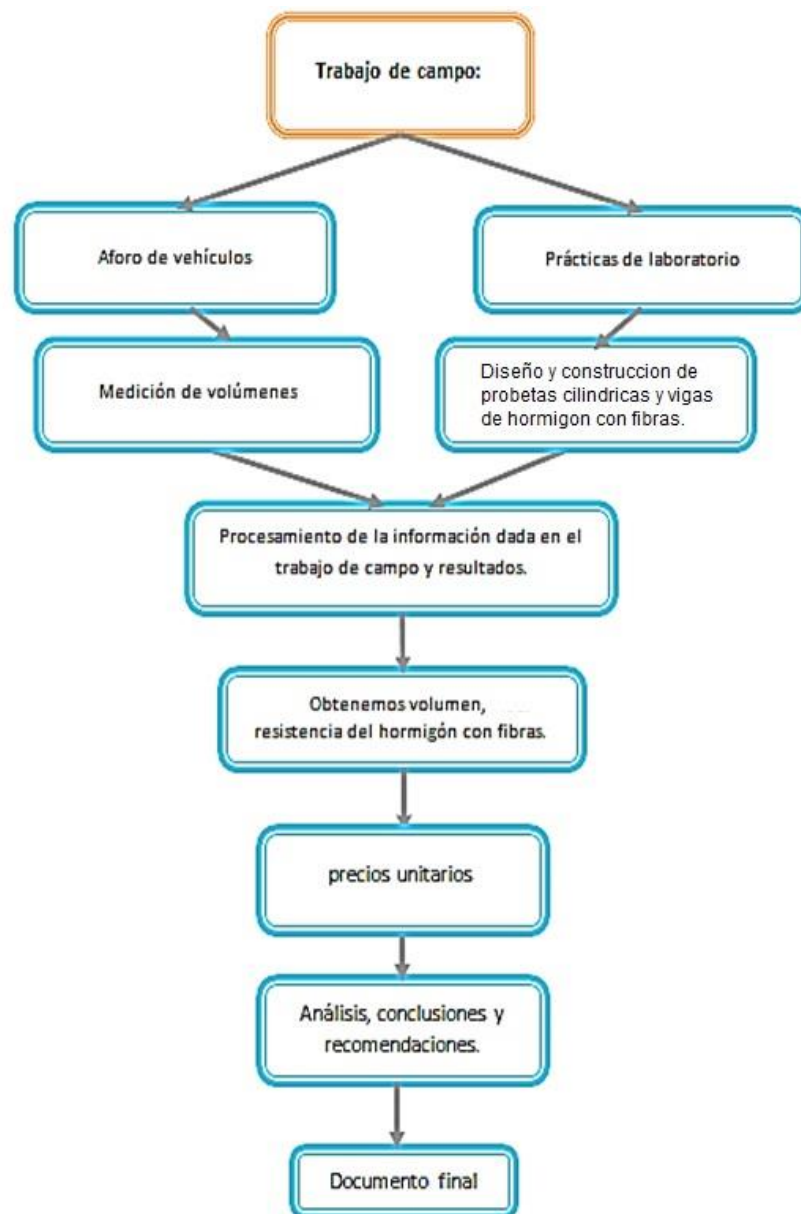
Se llevará a cabo las pruebas de compresión y flexo-tracción a los 28 días de vida de las probetas y vigas.

Obtenidos los datos se hará el respectivo análisis de los resultados.

Cuarta parte

Finalmente se realizará la evaluación de los resultados que se obtuvieron en el aforo vehicular y trabajo de laboratorio.

1.7.4. Esquema de la metodología



1.7.5. Aplicación de instrumentos y equipos

Se realizará el aforo manual para la obtención de los datos.













Figura 1.2. Aforo manual



Fuente: Elaboración propia.

Se contará con una planilla para el aforo.

Figura 1.3. Planillas de aforo

CLASE	TIPO		6.-7	7.-8	8.-9	9.-10	10.-11	11-12.	12.-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	TOTAL
LIVIANOS	1	Automóviles y Vagonetas 														
	2	Camionetas (hasta 2 Tn.) 														
	3	Minibuses (hasta 15 pasajeros) 														
	MB	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes) 														
OMNIBUS	B2	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes) 														
	B3	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes) 														
CAMION	C2m	Camiones Medianos (2,5 a 10,0 t; de 2 ejes) 														
	C2	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes) 														
	C3	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes) 														
SEMI-TRAILER	CSR	Camiones Semiremolque 														
	CR	Camiones Remolque 														
12	Otros Vehículos 															

Fuente: Elaboración propia.

Cronómetro para medir el tiempo, para el cálculo de la velocidad.

Figura 1.4. Cronómetro



Fuente: Elaboración propia.

Cinta métrica para medir el ancho del carril.

Figura 1.5. Cinta métrica



Fuente: Elaboración propia.

Las probetas son los moldes donde se hará el vaciado del hormigón con fibras.

Figura 1.6. Probetas



Fuente: Elaboración propia.

Para medir la resistencia a compresión usaremos una máquina de ensayo de compresión.

Figura 1.7. Máquina de ensayo de compresión



Fuente: Elaboración propia.

Hormigonera que nos permitirá mezclar todos nuestros materiales.

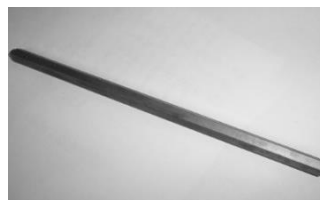
Figura 1.8. Hormigonera



Fuente: Elaboración propia.

Para nivelar la mezcla en los moldes usaremos una barra enrasadora.

Figura 1.9. Enrasadora metálica



Fuente: Elaboración propia.

Para clasificar el material granular se usarán tamices de diferentes números.

Figura 1.10. Tamices



Fuente: Elaboración propia.

Balanza eléctrica para el pesado de los materiales

Figura 1.11. Balanza



Fuente: Elaboración propia.

Pala para cargar los materiales q se usarán para el hormigón.

Figura 1.12 .Pala



Fuente: Elaboración propia.

Cono holandés sirve para medir el asentamiento y la trabajabilidad del hormigón

Figura 1.13. Cono holandés



Fuente: Elaboración propia.

1.8. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Esta aplicación tiene un carácter probabilístico, por las siguientes razones:

Se realizará un aforo de las 24 horas del día por una semana, por lo tanto, realizaremos un análisis descriptivo debido a que obtendremos un conjunto de datos que serán analizados.

Contaremos con un conjunto de datos “N” (datos que representan los parámetros de la ingeniería del tránsito), y otro conjunto de datos “n” (datos que representan la muestra de la zona estudiada), que serán calculados para tener mejor resultado.

Se realizarán medidas de depuración para el caso de las resistencias de las probetas obtenidas en las pruebas de laboratorio, las cuales nos indicaran los datos que se dispararon por algún motivo, a partir de las cuales encontraremos la desviación media, la varianza y la desviación estándar.

Media aritmética.- Es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos. Su fórmula es la siguiente:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación estándar.- Es la raíz cuadrada de la varianza, es decir, la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las puntuaciones de desviación. Su fórmula es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n}}$$

Rango.- Es el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo, por ello comparte unidades con los datos. Permite obtener una idea de la dispersión de datos. Su fórmula es la siguiente:

$$x = X \pm s$$

1.9. ALCANCE

En esta parte se desarrollará el alcance que tendrá esta investigación y lo que se quiere lograr en cada uno de los capítulos. En este trabajo de investigación requiere de la obtención de datos mediante ensayos de laboratorio como son las probetas para las pruebas y además del aforo de las calles donde se realizará el cálculo de espesor, basados en el porcentaje de volumen de los vehículos. El fin de este trabajo es de presentar un pavimento ultradelgado de concreto con fibras como alternativa de solución para mejorar el comportamiento del concreto ante el flujo vehicular.

Ya que son diversas las aplicaciones y propiedades de las fibras sintéticas y metálicas hacen que sea un producto adecuado para mezclar con el concreto por las ventajas que aportan. Las principales mejoras que proporciona al concreto son la disminución de fisuras en la contracción plástica como endurecida y la resistencia a tracción. Otro tema a tratar es el uso de losas ultradelgadas estas se presentan como una alternativa cuando se trata vías de tráfico liviano, se expondrán sus características, resistencia y beneficios, así también como se desempeñan en esta clase de estructuras.

En el primer capítulo se pretende dar desarrollo a una breve introducción de antecedentes, justificación del tema en estudio, revisión bibliográfica de los conceptos más importantes, los problemas que se quieren resolver con esta alternativa de estudio, se describirá los objetivos que se quiere alcanzar con la realización del estudio, así también los métodos y el método empleado para el cálculo del espesor de este.

En el segundo capítulo se reunirá toda la información que necesitamos para desarrollar este estudio. Se explicará detalladamente los conceptos fundamentales de pavimento y sus tipos, pero a la vez se enfocará en el pavimento rígido detallando su estructura, sus componentes, procedimiento de construcción y sus propiedades. En este mismo capítulo nos referimos al concreto como ser sus propiedades tanto del concreto fresco como endurecido. Se estudiarán también temas más específicos como son los pavimentos rígidos ultradelgados y las fibras, se explicará sus conceptos, ventajas, desventajas, propiedades y características.

Para el tercer capítulo se tiene preparado exponer todo lo que viene a ser la aplicación práctica de este estudio, como primer paso se tiene la ubicación y descripción de la zona en cuestión, antecedentes del proyecto y estudio del suelo.

Por último, se tiene planeado realizar la construcción de las probetas y vigas de concreto con fibras, donde se detallarán sus componentes, su construcción paso a paso hasta las pruebas de compresión y flexo-tracción, todos los resultados obtenidos serán expuestos al final de este capítulo. En este mismo capítulo se aplicará el método de la AASHTO 93 Y BS-PCA para obtener el espesor de la losa.

En el cuarto y último capítulo se proporcionará las conclusiones y recomendaciones necesarias respecto al tráfico vehicular, el cálculo de espesores de las losas ultradelgadas y la aplicación de esta alternativa de fibras, esperando que este trabajo aporte de alguna manera a la sociedad y al diseño de futuras obras similares que ayuden a solucionar el problema del pavimentado de vías.

CAPÍTULO II

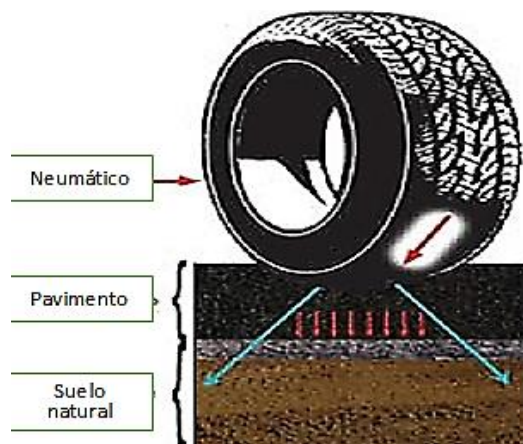
PROPIEDADES GENERALES DEL PAVIMENTO RÍGIDOS Y ULTRADELGADOS

2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS

La infraestructura carretera, resulta de modificar el terreno natural, construyendo las obras necesarias para procurar una superficie adecuada donde apoyar el pavimento. Comprende, por lo tanto, el movimiento de tierras, cortes y terraplenes y las obras de drenaje, necesarias para dar continuidad a los escurrimientos naturales y las que se requieren para asegurar la estabilidad general de la obra básica.

De acuerdo a la concepción actual de los pavimentos, estos pueden definirse como un sistema que funciona obedeciendo determinadas leyes físicas reaccionando en forma de respuestas cuando es activado por funciones de excitación. Es decir, el pavimento, es un sistema que está caracterizado por las propiedades, espesores y acomodo de los distintos materiales que conforman un conjunto de capas colocadas y apoyadas sobre otra, denominada "subrasante", con el propósito de recibir en forma directa las cargas del tránsito y transmitir las a los estratos inferiores, distribuyéndolas con uniformidad.

Figura 2.1. Transmisión de carga a la carpeta estructural



Fuente: Pavimentos-Cátedra Ingeniería Civil I-Ing. Claudio Giordani

Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento y permite por un periodo determinado la circulación de vehículos en condiciones de comodidad y

seguridad aceptables bajo las diversas condiciones ambientales que se presenten. Bajo esta concepción, ni las terracerías, ni la capa subrasante, ni el terreno natural forman parte del mismo.

La experiencia ha demostrado que se puede tener un pavimento muy bien formado desde la capa subrasante, con los mejores materiales y con un excelente control de calidad al construirse y por el hecho de tener terracerías inestables puede fallar. La sección estructural del pavimento, la cual está formada por el terreno natural, el cuerpo del terraplén, la capa subrasante y las diferentes capas, constituyen lo que se conoce como pavimento: subbase, base y carpeta.

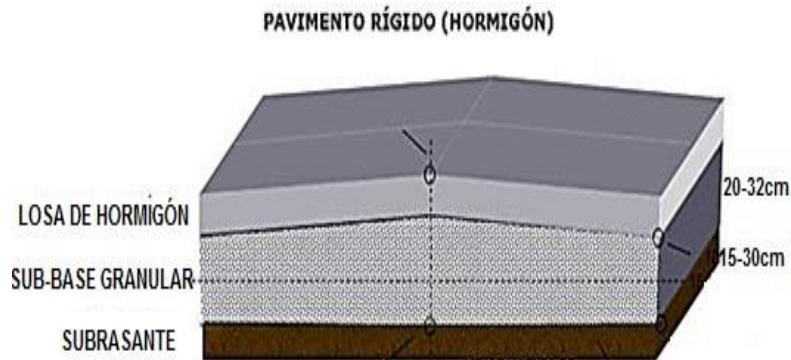
Al actuar sobre los pavimentos las cargas aplicadas por los vehículos, el sistema genera respuestas mecánicas inmediatas, derivadas de las leyes físicas involucradas y que se identifican como estados de esfuerzos, de deformaciones unitarias y de deflexiones, a los cuales están asociados determinados efectos, conocidos como deterioros, que están en función del tiempo y que se caracterizan por ser acumulativos, permanentes e interactuante, identificados como agrietamientos deformaciones, desintegración y reducción de la resistencia al derrapamiento, además del fenómeno de bombeo y escalonamiento entre juntas, en el caso de los pavimentos rígidos.

2.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS

En los pavimentos rígidos, la superficie de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presentan un armado de acero. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las losas adyacentes que trabajan en conjunto con la que recibe directamente la carga.

A excepción de los bordes de las losas y las juntas, sin pasajuntas, las deflexiones y deformaciones elásticas son casi nulas. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Generalmente, el mantenimiento que requiere es mínimo y comúnmente solo se efectúa en las juntas de las losas.

Figura 2.2. Estructura de un pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Sub-rasante

La capa subrasante, debe recibir y soportar las cargas producidas por el tránsito, que le son transmitidas por el pavimento, dentro de un periodo de tiempo determinado (que corresponde al periodo del proyecto), sin sufrir deterioros o deformaciones que afecten la integridad del pavimento.

Las funciones de la capa subrasante deben ser:

Transmitir y distribuir de modo adecuado las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén. Evitar que los materiales finos plásticos que formen el cuerpo del terraplén contaminen el pavimento.

Evitar que las terracerías, cuando estén formadas principalmente por fragmentos de roca (pedraplen), absorban el pavimento.

Evitar que las imperfecciones de la cama de los cortes se reflejen en la superficie de rodamiento.

Uniformizar los espesores de pavimento, sobre todo cuando varían mucho los materiales de terracerías a lo largo del camino.

Economizar espesores de pavimentos, en especial cuando los materiales de las terracerías requieren.

Las principales funciones, tanto de las bases como de las subbases, son: recibir y resistir

las cargas del tránsito a través de la capa que constituye la superficie de rodamiento (carpeta asfáltica o losas de concreto); transmitir estas cargas, adecuadamente distribuidas a las terracerías; impedir que la humedad de las terracerías ascienda por capilaridad, y en caso de introducirse agua por la parte superior, permitir que el líquido descienda hasta la capa subrasante, donde se desaloja al exterior por el efecto de bombeo o la sobreelevación.

En el caso de los pavimentos rígidos, las subbases tienen como principales funciones controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción.

Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad de soporte de las losas y se construye con materiales granulares, los cuales, cuando el tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar, por lo general, con cemento Portland para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables.

Otro aspecto importante que debe cumplir la subbase es evitar la eyección de material fino a través de juntas y grietas, al paso del tránsito pesado. Asimismo, cabe mencionar que eventualmente a esta capa se le denomina base, por su posición inmediatamente a bajo de la losa.

2.2.2. Sub-base

Subbase es la capa que se construye sobre la capa subrasante. Esta capa puede no ser necesaria cuando la subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la capa de rodadura un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación.

Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc. Normalmente la capa subbase se usa para abaratar el costo de la capa base, es decir si se tiene un espesor base de 30 cm es preferible bajar el espesor de esta.

Figura 2.3. Capa sub-base



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. Capa de rodadura

La base es la capa situada bajo la carpeta, y su función es evidentemente resistente, pues absorbe la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean materiales granulares tratados con un cementante, denominadas bases asfálticas o bases de grava-cemento.

Figura 2.4. Capa de rodadura



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.1. Los agregados pétreos

Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. Por ejemplo, el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en los pavimentos del 75% al 90%.

Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas cobra especial importancia para su adecuada y eficiente utilización.

Antes de empezar a estudiarlos es conveniente definir algunos términos utilizados bien por el ingeniero o bien por el común de la gente, para que todos hablemos el mismo idioma.

Agregado o árido: conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles.

Agregado grueso o grava es el material retenido en el tamiz N°4, con un tamaño entre 7,6 cm y 4,76 mm.

Agregado fino o arena es el material pasante de la malla N° 4 y retenido en la malla N°200, con tamaños entre 4,76 mm y 0,074 mm.

Finos son partículas pasantes del tamiz N° 200 con tamaños entre 0,074 y 0,002 mm.

Gravilla es el material de río o de cantera, separado en la fuente en tamaños pasantes del tamiz 3/4" y retenido en el N° 4, con tamaños entre 19,1 mm y 4,76 mm.

Cascajo hace referencia exclusivamente al agregado rodado pasante del tamiz 1 1/2" y retenido en el tamiz N° 4, con tamaños entre 38,1 mm y 4,76 mm.

Los agregados empleados en la construcción pueden obtenerse por la explotación de bancos de material, depósitos de rocas que afloran en la superficie terrestre, o por extracción y clasificación del material que arrastran los ríos.

Nos referiremos en primera instancia a los bancos de material, sin olvidar que las características y condiciones de calidad se aplican por igual a ambos materiales.

2.2.3.2. Elección de los bancos de material

Los bancos de material se definen como lugares donde aflora la roca. La ubicación de los bancos de material se debe apoyar en:

Cartografía de la zona y cortes geológicos.

Datos y resultados de trabajos geotécnicos o geofísicos realizados en la zona o sus alrededores.

Al elegir un banco de material se debe considerar:

Profundidad, espesor y extensión que lo hagan rentable.

La clase de material requerido de acuerdo al elemento estructural que se va a construir.

Facilidad de acceso al lugar y distancia de acarreo hasta el sitio de la obra.

Derechos de propiedad de la zona donde se encuentra la cantera.

Costos de explotación.

2.2.3.3. Clasificación según su procedencia

En primera instancia los agregados según su procedencia se clasifican en naturales y artificiales.

a) Agregados naturales

Figura 2.5. Extracción natural de agregados



Fuente: Elaboración propia.

Proviene de la explotación de canteras o son producto del arrastre de los ríos. Según la forma de obtenerse los podemos clasificar como material de cantera y material de río. Conviene hacer la distinción porque el material de río al sufrir los efectos de arrastre, adquiere una textura lisa y una forma redondeada que lo diferencian del material de cantera que por el proceso de explotación tiene superficie rugosa y forma angulosa.

El material que se obtiene como producto de la trituración de los sobre tamaños del material de río, adquiere las características físicas del material de cantera por el proceso de trituración, pero conserva las cualidades mecánicas, propias como resistencia al desgaste y al intemperismo, que tenía el material de río que le dio origen.

b) Agregados artificiales

Figura 2.6. Chancadora de agregados



Fuente: Elaboración propia.

Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales, tales como arcillas expandidas, escorias de altos hornos, limaduras de hierro, etc. En algunos casos para ciertos tipos de concreto de baja resistencia, se suelen utilizar algunos residuos orgánicos como cascarilla de arroz, de palma, café, etc., mezclados con los agregados naturales para abaratar los costos del concreto y del mortero.

En el país se han realizado numerosas investigaciones utilizando los desperdicios orgánicos o industriales con el objeto de producir un concreto de buenas especificaciones, pero relativamente más barato.

El Instituto Colombiano de Productores del Cemento ICPC posee un banco de investigaciones y presta el servicio de información a quien lo solicita.

c) Clasificación según su tamaño

Tabla 2.1. Resistencia a flexo-tracción a los 28 días kg/cm^2

Tamaño de las partículas en mm	Denominación corriente	Clasificación
Pasante del tamiz N°200 inferior a 0,002	Limo	Fracción fina o finos
Entre 0,002-0,740	Arcilla	
Pasante del tamiz N°4 y retenido en el tamiz N°200 es decir entre 4,760 y 0,074	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N°4 entre 4,76 y 19,10 (N°4 y 3/4")	Gravilla	Agregado grueso
Entre 19,1 y 50,8 (3/4" y 2")	Grava	
Entre 5,8 y 152,4 (2"y 6")	Piedra	
Superior a 152,4 (6")	Rajón, piedra bola	

Fuente: Propiedades físicas de los suelos. Ingeniero Ronald Ramos

2.3. 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.

2.3.1. Concreto fresco

El concreto presenta las siguientes propiedades:

2.3.1.1. 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 llevada a cabo mediante el ensayo como es el cono de Abrams, éste arrojará como resultado una medida cuantitativa conocida como Slump.

2.3.1.2. Sangrado

Es la aparición de una lámina de agua en la superficie de la mezcla recién colocada. Es causada por dos fenómenos, el asentamiento de las partículas sólidas y en simultáneo, la

subida del agua hacia la superficie.

2.3.1.3. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es lo que demora el concreto en llegar a su estado endurecido. El fraguado puede ser medido mediante la aguja de Vicat.

2.3.2. Concreto endurecido

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

2.3.2.1. 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.

2.3.2.2. 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.

2.3.2.3. 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 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.

2.3.2.4. 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.

2.4. JUNTAS EN UN PAVIMENTO RÍGIDO

Para controlar y reducir los efectos perjudiciales del agrietado, o para transferir las cargas entre losas adyacentes, se acude al uso de hierros redondos de distribución o barras de anclaje y pasadores más conocido como juntas.

Las juntas son parte esencial de los pavimentos pues son superficies de falla previamente controladas y diseñadas para lograr efectos funcionales estéticos. En función de la posición de la junta con respecto al avance del vaciado de concreto.

Las juntas en pavimentos de concreto pueden denominarse como juntas longitudinales, que son paralelas al avance, y transversales, que son perpendiculares al mismo.

2.4.1. Tipos de juntas

A continuación, presentamos los tipos de juntas más importantes para la construcción de pavimentos:

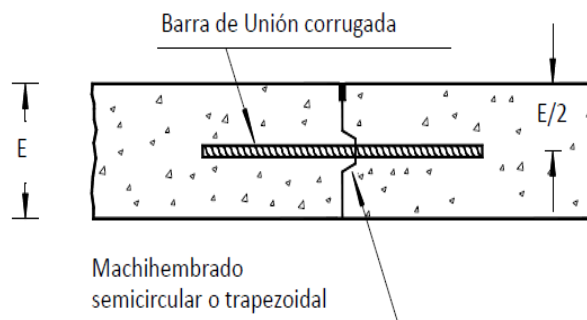
2.4.1.1. Junta longitudinal de construcción

Son aquellas paralelas al eje del camino, a una distancia entre ellas de 3,5 metros, salvo indicaciones del proyecto que indiquen otra distancia.

Se deberán usar barras de traspaso de cargas ubicadas en el centro del espesor de la losa, dispuestas en posición horizontal. Estas barras serán de acero de calidad A-44-28-H con resaltes, de un largo de 650 mm y de diámetro 12 mm.

La separación de estas barras será de 650 mm estas indicaciones se tomarán en cuenta si el proyecto no indica otra cosa.

Figura 2.7. Detallamiento de una junta longitudinal de construcción



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón -Ing. Diego Calo

Tabla 2.2. Dimensiones de junta longitudinal de construcción (MINVU, 2008)

Espesor Pav. H(cm)	Dimensiones (cm)					
	A	B	C	D	I	X
15 a 20	6-8	2-3	0,5-1,0	2,0-3,0	63	120
20 a 24	8-10	2-3	0,5-1,0	2,0-3,0	63	100
24 a 28	10-12	2-3	0,5-1,0	2,0-3,0	63	90

Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón -Ing. Diego Calo

2.4.1.2. Junta longitudinal de contracción

Este tipo de juntas controlan la formación de fisuras y son usadas en fajas de pavimento con más de 5 metros de ancho sin junta longitudinal de construcción. Se emplean barras de trabazón de acero con resalte.

La junta se formará por aserrado con un ancho de 3 a 4 mm y profundidad de 1/3 del espesor del pavimento. También puede fabricarse mediante una cinta continua de plástico u otro material que no afecte químicamente el hormigón, a una profundidad mínima de 50 mm.

2.4.1.3. Juntas de contracción en el hormigón fresco

Se construye insertando por vibración una pletina en el hormigón fresco. El espesor de la pletina es de 4 a 6 mm introducido a una altura de 1/3 del espesor del pavimento.

Una vez retirada la pletina vibratora se introducirá una tablilla no absorbente, generalmente del tipo fibro-cemento o de otro material que no reaccione con el H^o.

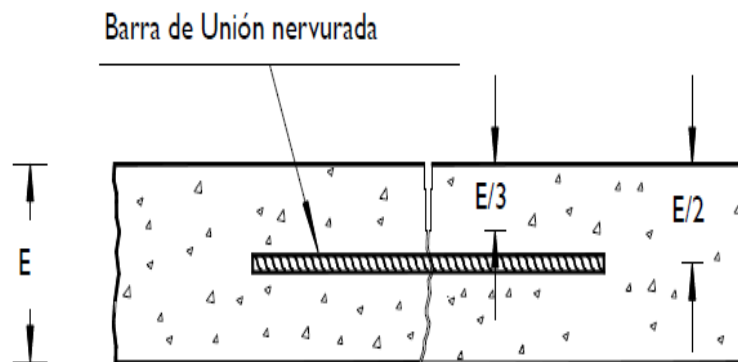
2.4.1.4. Juntas de contracción en el hormigón endurecido

Se construye aserrando la superficie del pavimento con un ancho y profundidad indicada por los planos. Se recomienda un espesor de 5 a 8 mm y una profundidad igual a 1/3 del espesor del pavimento.

Se iniciará tan pronto como lo permita el endurecimiento del hormigón.

Si antes de cortar, se produjeran grietas transversales incontroladas, no se aserrarán las juntas que queden a una distancia menor de 2 metros.

Figura 2.8. Detallamiento de una junta longitudinal de contracción



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón -Ing. Diego Calo

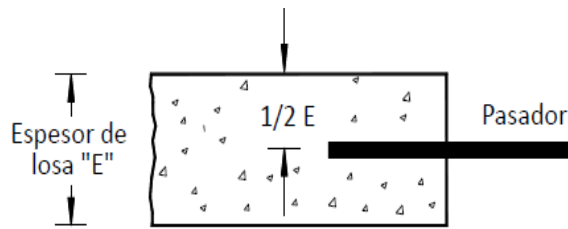
2.4.1.5. Juntas transversales de construcción

Deberán ser construidas cuando hay interrupciones de más de 30 minutos. En este tipo de juntas, deben utilizarse dispositivos de transferencia de carga, los cuales serán de acero A-44-28-H, lisas. Con un largo de 460 mm y ubicadas cada 300 mm.

Estas juntas se elaboran cuando el vaciado de una losa se paraliza por un tiempo mayor al tiempo de fraguado o cuando se detiene el vaciado por el término de la jornada laboral.

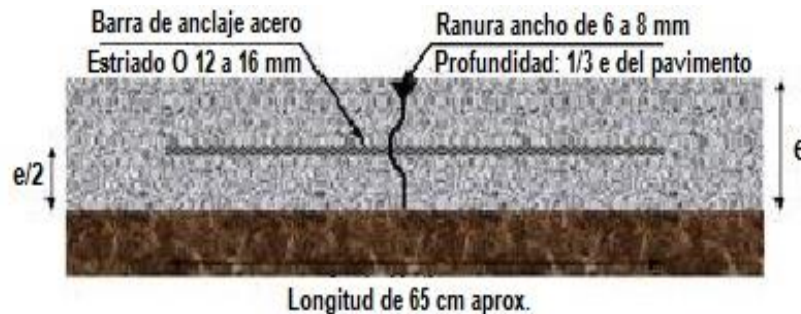
Estas juntas tienen la finalidad de que la primera descarga de concreto termine en una superficie recta, de tal manera que en la siguiente jornada laboral, o luego de la paralización, se continúe con un vaciado uniforme. Esta junta puede ser construida transversal y longitudinalmente.

Figura 2.9. Detallamiento de juntas transversales de construcción



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón -Ing. Diego Calo

Figura 2.10. Detallamiento de juntas transversales de construcción



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón-Ing. Diego Calo

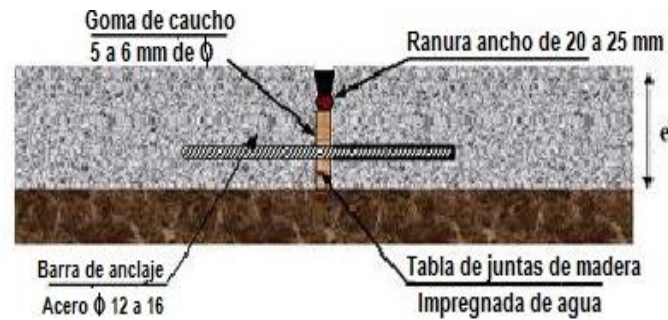
2.4.1.6. Juntas transversales de expansión

Se conocen también como juntas de control, estas se construyen cada determinada distancia en las losas con la finalidad de que las grietas ocurran en las juntas y no sin obedecer ningún patrón. El espaciamiento de estas juntas depende de varios factores, tales como: el coeficiente de dilatación, espesor del pavimento, variaciones de temperatura, entre otros. Las juntas de contracción pueden ser construidas transversalmente al eje central del pavimento y longitudinalmente para dividir carriles de tránsito.

Se usan solamente en determinados casos: empalmes con pavimentos existentes, empalmes con puentes o losas, o en los contornos de cámaras o sumideros.

Se usan barras de transmisión de cargas de acero A44-28H sin resalte, con un extremo recubierto con betún asfáltico o envainado en PVC. La barra de acero deberá estar empotrada en el otro extremo del pavimento, permitiendo su movimiento en completa libertad.

Figura 2.11. Detallamiento de juntas transversales de expansión



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón-Ing. Diego Calo

2.4.1.7. Junta transversal de contracción

Su objetivo es inducir en forma ordenada las grietas que se producen a causa de la retracción del hormigón. Se recomienda construir a una distancia de 4,5 m entre sí, salvo indicaciones al contrario, debiendo ser perpendiculares o desviadas al eje del camino. Salvo que las especificaciones del proyecto indiquen lo contrario, en este tipo de juntas, no se consultan dispositivos de transferencia de cargas. En el caso de pavimentos nuevos contiguos a otros ya existentes, la posición de la nueva junta deberá coincidir con la existente.

Figura 2.12. Detallamiento de junta transversal de contracción



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón-Ing. Diego Calo

Tabla 2.3. Dimensiones de junta transversal de contracción

Espesor pavimento H(cm)	19-20	21-22	23-24	15-16	17-18
Factor de forma WD	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2	0,8 a 1,2		
Ancho superior W (cm)	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1	0,9 a 1,1		
Profundidad sellado D (cm)	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	1,0 a 1,2	4,0 a 5,0	4,5 a 5,5
Profundidad junta d (cm)	5,0 a 6,0	5,5 a 6,5	6,0 a 7,0		
Abertura junta e (cm)	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6		

Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón-Ing. Diego Calo

2.4.1.8. Juntas de expansión-aislamiento

Permite movimientos relativos con estructuras fijas u otros pavimentos. Tienen como función aislar un pavimento de otros elementos estructurales; tales como: puentes, drenaje, muros o columnas. Este tipo de junta tiene como finalidad disminuir esfuerzos entre elementos y garantizar un correcto movimiento horizontal o vertical.

Aíslan el pavimento de otra estructura, tal como otra zona pavimentada y ayudan a disminuir tensiones de compresión que se desarrollan en intersecciones en T y asimétricas.

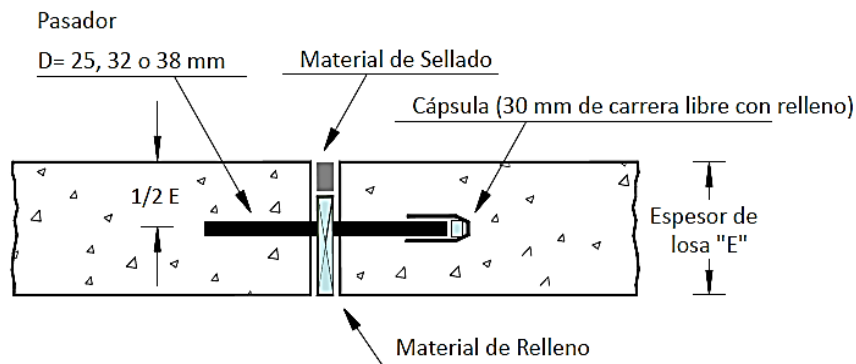
Su ancho debe ser de 12 a 25 mm, ya que mayores dimensiones pueden causar movimientos excesivos en las juntas cercanas. La transferencia de carga se efectúa a través del pasador, sino debe realizarse sobre espesor de hormigón. En pavimentos sin pasadores las 3 o 4 juntas próximas a la de dilatación deben ejecutarse con pasadores.

Figura 2.13. Junta de expansión



Fuente: Suelo o terreno de fundación- Universidad Alas Peruanas

Figura 2.14. Detallamiento de junta de expansión



Fuente: Juntas en pavimentos de hormigón-Ing. Diego Calo

2.4.2. Sellado de juntas en pavimentos de concreto

El sellado de las juntas persigue fundamentalmente:

Minimizar la infiltración del agua superficial, puesto que esta ablanda la base y propicia el bombeo (salida de finos a través de la junta) con lo que la losa pierde apoyo, corriéndose el riesgo de su rotura.

Evitar la entrada de materiales duros e incompresibles a la junta, que pueden desportillar los labios y permitir daños mayores al dilatarse las losas.

Disminuir la corrosión de los pasadores de las losas del pavimento evitando la entrada de humedad a través de las juntas.

Cuando sea necesario sellar las juntas se aplicará un mastic asfáltico de aplicación en caliente, que cumpla con los requisitos de AASHTO M-173 u otro que se especifique; no se recomienda el empleo de arena o material similar sobre el sello.

El sellado se hará antes de la entrega al tránsito y previa limpieza de la junta con herramientas adecuadas y aire comprimido; el momento de aplicar el material de sello.

Después del sellado se deberán eliminar los eventuales derrames sobre la superficie se considera que de un buen sellado de juntas depende la vida de un pavimento de concreto, razón por la cual las normas exigen este proceso tanto en la construcción como en el mantenimiento.

La operación de sellado de las juntas implica los siguientes procesos:

Limpieza de la junta.

Selección de los materiales para el sello.

Sellado propiamente dicho.

2.4.2.1. Materiales para el sello

En general, los materiales para el sello de las juntas deben:

Ser de un material impermeable.

Deformarse y acomodarse a los movimientos de la junta sin romperse.

Mantener sus propiedades al someterse a ciclos de deformación (compresión y tracción).

Adherirse a las paredes del concreto sin pegarse a la base.

No endurecerse (rigidizarse).

Dependiendo de la aplicación, un sellador debe ser capaz de combinar la tixotropía (resistencia al descuelgue) con cierto grado de fluidez.

Figura 2.15. Obrero realizando el sellado de un pavimento



Fuente: Elaboración propia

2.5. FISURACIÓN DEL CONCRETO

La fisuración es una consecuencia directa de la baja resistencia a la tracción del concreto. También pueden darse debido a la compresión y puede estar presente en cualquier tipo de estructura desde edificaciones, hasta toda clase de obra civil en donde participe el concreto.

Dichas fisuras pueden manifestarse en años, semanas, días u horas debido a las distintas causas. Esta patología en el concreto puede afectar la apariencia de la estructura; sin embargo, también puede indicar fallas estructurales ya que debido a ellas, agentes

químicos pueden entrar en contacto con la armadura del elemento o con el mismo concreto, debilitando así la estructura y afectando la durabilidad.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que no siempre son peligrosas, lo que importa es conocer el tipo de elemento estructural en el que han aparecido y la naturaleza de estas.

La peligrosidad de las fisuras se debe tener en cuenta cuando se sobrepasan determinados espesores o cuando están en determinados ambientes.

Así mismo, las fisuras se pueden clasificar en:

2.5.1. Fisuras estabilizadas

También llamadas muertas, son aquellas que llegan a una determinada abertura y el proceso queda detenido.

2.5.2. Fisuras en movimiento

Son aquellas en las que la fisuración continúa hasta llegar a estabilizarse.

2.5.3. Fisuras estructurales

Son debidas a las excesivas cargas a que esta sometidos el concreto, las cuales originan esfuerzos sobredimensionados, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

2.5.4. Fisuras causadas por fuerzas externas

Estas son síntomas de un mal comportamiento estructural y se originan por problemas o errores en el proyecto, también por la actuación de cargas excesivas en los elementos.

Estas fisuras no pueden ser reparadas superficialmente. Se pueden describir:

Fisuras causadas por esfuerzos de flexión: estas se presentan en la parte inferior de las vigas, las cuales continúan casi verticalmente hasta llegar al centro de la viga.

Fisuras causadas por esfuerzos cortantes, habitualmente aparecen luego de eventos sísmicos y aparecen en los extremos de una viga y columna, generalmente son grietas

que forman un ángulo de 45°.

Las fisuras debidas a esfuerzos de compresión aparecen por las excesivas cargas que se le somete, comúnmente aparecen en las columnas y no son fáciles de identificar.

Las fisuras por asentamiento de terreno, ocurren por un mal diseño de la cimentación o mala compactación del terreno en uno de los apoyos, los cuales ocasionan asentamientos diferenciales excesivos. Aparecen en la columna en la que ha sido asentada, tienen la dirección hacia el lado del terreno que no se ha deformado.

2.5.5. Fisuras causadas por el reforzamiento de acero

Esta fisuración tiene como origen la corrosión en el acero del concreto armado, la corrosión es el principal agente químico que ataca al acero, es por ello que se debe tratar a tiempo con la finalidad de no generar problemas a futuro.

Una de las causas es porque el elemento no tiene el debido recubrimiento, es por esto que el agua penetra y se forma óxido que va formando una capa sobre la armadura, la cual va creciendo y ejerciendo presión sobre el recubrimiento hasta romperlo y formar la grieta; estas aparecen de forma longitudinal al refuerzo que se le añadió al concreto otra de las causas es por no añadir la cantidad correcta de acero al concreto, ya que deja espacios considerables sin reforzar y es donde las grietas aparecen.

2.5.6. Fisuras en estado plástico

La fisuración por contracción plástica del concreto ocurre cuando éste se halla aún en estado plástico, y durante las primeras horas en que ha sido colocado.

Según la norma ACI 224.1R-93 este tipo de fisuración se subdivide en 2:

a) Fisuración por retracción plástica

Esto ocurre cuando el concreto pierde contenido de humedad de manera muy rápida a causa de la temperatura del ambiente, bajas humedades y altas velocidades del viento, generando la rápida evaporación del agua de la superficie del concreto. Esta evaporación ocasiona la contracción de la capa superficial.

Sus longitudes pueden variar entre pocos milímetros hasta un metro, y su separación puede ser desde pocos milímetros hasta 3 metros.

b) Fisuración por precipitaciones de los agregados

Esta fisuración se produce luego del colocado, vibrado y acabado, ya que el concreto aún continúa en su proceso de consolidación. Durante esta etapa, el concreto puede estar restringido por las armaduras del elemento y el encofrado.

Es así que estas restricciones producen vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento que impone la restricción.

2.5.7. Fisuras en estado sólido

Esta fisuración se produce debido a las restricciones que tiene el concreto endurecido para cambiar su volumen. La principal causa de aparición de este tipo de fisuración es la evaporación rápida del agua de la superficie de concreto, es un fenómeno más común en climas cálidos donde les favorecen las condiciones de temperatura.

La norma técnica ACI 224.1R-93 la sub clasifica de acuerdo a su causa:

a) Retracción por secado

Es la causa principal de la aparición de fisuras en el estado sólido, ya que cuando el concreto pierde toda su humedad, tiende a cambiar de volumen a largo plazo.

Ello genera esfuerzos de tracción y cuando estos exceden la resistencia a la tensión del concreto se producen fisuras, las cuales se producen perpendicularmente a los esfuerzos.

El contenido de agua, el tamaño del agregado, la relación agua-cemento y el curado son algunos factores que afectan a la retracción por secado.

Por otro lado, otras causas que producen fisuras son: tensiones de origen térmico, reacciones químicas, meteorización, prácticas constructivas inadecuadas.

Evite las mezclas con exceso de arena, usar el máximo tamaño de agregado posible y usar agregados con la forma y la gradación granulométrica más favorables.

2.6. DOSIFICACIÓN PARA EL HORMIGÓN POR EL MÉTODO ACI-211

2.6.1. Características de los agregados

Tabla 2.4. Datos de los agregados pétreos

Ensayo	Unidad
1.Módulo de finura de la arena (MF)	s/u
2.Peso unitario compactado de la grava (PUC)	kg/m ³
3.Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³
4.Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³
5.Absorción de la arena (Aa)	%
6.Absorción de la grava (Ag)	%
7.Humedad de la arena (Ha)	%
8.Humedad de la grava (Hg)	%
9.Tamaño máximo nominal (TMN)	plg
10.Tamaño máximo (TM)	plg
11.Peso específico del cemento	gr/cm ³

Fuente: Manual para el método ACI-211

2.6.2. Características del diseño

Resistencia de diseño (f_{ck})

Resistencia característica (f_{ck}) (Tabla 2.5)

Asentamiento (S) (Tabla 2.6)

Relación agua / cemento (a/c) (Tabla 2.7)

Tabla 2.5. Resistencia de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar (a)

Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm ²)	Resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en (kg/cm ²)
Menos de 210 kg/cm ²	$f_{ck} + 70$ kg/cm ²
De 210 a 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 85$ kg/cm ²
Más de 350 kg/cm ²	$f_{ck} + 100$ kg/cm ²

Fuente: Manual para el método ACI-211

Tabla 2.6. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

Consistencia	Asenta.	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi - seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: Manual para el método ACI-211

Tabla 2.7. Correspondencia entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua-cemento para los cementos Portland tipo I, en hormigones sin aire incluido

Resistencia a la compresión kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,70	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

Fuente: Manual para el método ACI-211

2.6.3. Datos de las tablas

Vol. agregado grueso / vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 2.8)

Requerimiento de agua (A) (Tabla 2.9)

Tabla 2.8. Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla (a), por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena (b)

Tamaño máximo nominal del agregado		Módulo de finura de la arena			
mm	plg	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152,0	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Manual para el método ACI-211

Tabla 2.9. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en hormigón sin aire incluido

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (plg)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	plg	Agua de mezclado, en kg/m ³ de hormigón							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	146
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: Manual para el método ACI-211

2.6.4. Cálculos

Peso agregado grueso (PAG) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PAG} = \frac{b}{b_0} \times \text{PUC}$$

Donde:

$\frac{b}{b_0}$ = Volumen agregado grueso / volumen unitario concreto

PUC = Peso unitario compactado de la grava

Peso cemento (PC) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PC} = \frac{A}{(a/c)}$$

Donde:

A = Requerimiento de agua

$\left(\frac{a}{c}\right)$ = Relación agua/cemento

Volumen de agregado grueso (VAG) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{VAG} = \frac{\text{PAG}}{\gamma_g}$$

Donde:

γ_g = Peso específico de la grava

Volumen del cemento (VC) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{VC} = \frac{\text{PC}}{\gamma_c}$$

Donde:

PC = Peso cemento

γ_c = Peso específico del cemento

Volumen de arena (VAF) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{VAF} = 1000 - \text{VC} - \text{A} - \text{VAG}$$

Donde:

VAG = Volumen de agregado grueso

Peso del agregado fino (PAF) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{PAF} = \text{VAF} \times \gamma_f$$

Donde:

γ_f = Peso específico de la arena

2.6.5. Pesos secos de los ingredientes por (m3) de concreto

Tabla 2.10. Pesos secos de los ingredientes

Material	Peso seco kg/m ³	Volumen absoluto lt/m ³	Peso específico gr/cm ³
Cemento	PC	VC	γ_c
Agua	A	A	γ_a
Grava	PAG	VAG	γ_g
Arena	PAF	VAF	γ_f

Fuente: Manual para el método ACI-211

2.6.6. Pesos húmedos de los materiales

Peso húmedo de la arena (PHA) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PHA} = \text{PAF} \times (1 + H_a)$$

Donde:

PAF = Peso del agregado fino

H_a = Humedad de la arena

Peso húmedo de la grava (PHG) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PHG} = \text{PAG} \times (1 + H_g)$$

Donde:

PAG = Peso del agregado grueso

H_g = Humedad de la grava

2.6.7. Corrección del agua

Agua corregida a la grava (ACG) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{ACG} = \text{PAG} * (\text{Ag} - \text{Hg})$$

Donde:

PAG = Peso del agregado grueso

Ag = Absorción de la grava

Hg = Humedad de la grava

Agua corregida a la arena (ACF) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{ACF} = \text{PAF} * (\text{Aa} - \text{Ha})$$

Donde:

PAF = Peso del agregado fino

Aa = Absorción de la arena

Ha = Humedad de la arena

Total agua corregida (ATC) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\text{ATC} = \text{ACG} + \text{ACF}$$

Donde:

ACG = Agua corregida a la grava

ACF = Agua corregida a la arena

2.6.8. Pesos húmedos de los ingredientes por (m³) de hormigón

Tabla 2.11. Pesos húmedos de los ingredientes

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Peso húmedo kg/m ³
Cemento	PC	PC
Agua	A	A+ATC
Grava	PAG	PHG
Arena	PAF	PHA

Fuente: Manual para el método ACI-211

2.6.9. Proporciones de mezcla (adimensional)

$$\text{Proporción cemento} = \frac{PC}{PC} = 1,00$$

$$\text{Proporción arena} = \frac{PC}{PAF} = 1,95$$

$$\text{Proporción grava} = \frac{PC}{PAG} = 2,82$$

Cemento : Arena : Grava

2.7. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO (MÉTODO DE LA AASHTO 93)

El método de diseño AASHTO 93 fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60 basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986 y su correspondiente versión mejorada de 1993 el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

A diferencia de otros métodos este 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.

Este método está desarrollado en la publicación de AASHTO "Guide for Design of Pavement Structures". Donde se incluyen diseños para pavimentos flexibles y de concreto.

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante, todo lo contrario, sucede en los pavimentos flexibles que al tener menor

rigidez transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la subrasante.

2.7.1. Uso del software para diseño de pavimentos AASHTO 1993

Para el uso de programa seguimos los siguientes pasos para obtener cada uno de los factores que requiere el programa para el cálculo del espesor del pavimento:

- a) Obtener el TPD de la vía en estudio
- b) Según el tipo de vía en estudio elegir el periodo de análisis, según la tabla:

Tabla 2.12. Periodo de análisis de la vía

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

- c) Usando el índice de crecimiento de cada tipo de vehículo se calcula el factor de crecimiento (FC)

Tabla 2.13. Tabla índice de crecimiento vehicular

Tipo de vehículo	Peso máximo (t)	Peso máximo (kn)	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento
Vehículos livianos (automóviles y vagonetas)	2,0	19,61	0,03	18,351
Vehículos medianos (camioneta y minibuses)	3,0	29,42	0,02	16,812
Vehículos pesados	8,0	78,45	0,0025	15,265

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Donde:

FC = Factor de crecimiento

i = Índice de crecimiento (%)

n = Periodo de análisis (años)

d) Cálculo del número de ESAL's

Tabla 2.14. Factores de equivalencia de carga (LEF's)

LEF's										
Carga por eje		D plg (mm)								
(kips)	kn	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		152,4	177,8	203,2	228,6	254	279,4	304,8	330,2	355,5
2	8,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	17,8	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	26,7	0,011	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8	35,6	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
10	44,5	0,087	0,084	0,082	0,081	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
12	53,4	0,186	0,18	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
14	62,3	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336	0,336
16	71,2	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
18	80	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	89	1,55	1,56	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59
22	97,9	2,32	2,32	2,35	2,38	2,4	2,41	2,41	2,41	2,42
26	115,7	4,46	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	5,06
28	124,6	6,58	6,44	6,52	6,7	6,85	6,94	7	7,02	7,04
32	142,6	11,9	11,5	11,5	11,8	12,2	12,4	12,6	12,7	12,7
34	151,3	15,5	15	14,9	15,3	15,8	16,2	16,4	16,6	16,7
36	160	20,1	19,3	19,2	19,5	20,1	20,7	21,1	21,4	21,5
40	178	32,2	30,8	30,4	30,7	31,6	32,6	33,4	34	34,4
42	186,9	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
44	195,8	40,1	38,4	37,7	38	38,9	40,1	41,3	42,1	42,7
46	204,7	60,4	57,7	56,6	56,7	57,7	59,3	61,1	62,6	63,7
48	213,6	73,2	69,9	68,4	68,4	69,4	71,2	73,3	75,3	76,8
50	222,5	88	84,1	82,2	82	83	84,9	87,4	89,8	91,7

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Tabla 2.15. Cálculo de N° de ESAL's

Tipo de vehículo (eje simple)	Volumen de tráfico (tabla TPD)	Tránsito de diseño (TPD) (VTD x FC x 365)	LEF's (tabla 2.14)	N° de ESAL's (TPD x LEFs)
Vehículos livianos (automóviles y vagonetas)				
Vehículos medianos (camiones y minibuses)				
Vehículos pesados				
Total				

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

e) Cálculo del número previsto de ejes equivalentes de 18 kips, a lo largo del periodo de diseño

$$W_{18} = \text{ESAL} \times \text{FD} \times \text{FC}$$

Donde:

W_{18} = Unidades ESAL de 18Kips acumulados, previstas para una sección.

Número previsto de ejes equivalentes de 18 kips, a lo largo del periodo de diseño.

FD = Factor direccional 0,5 corresponde a caminos de dos direcciones por calzada.

FC = Factor de carril 0,9 corresponde a un carril por dirección o sentidos.

Tabla 2.16. % ESAL de 18 kips

Número de carriles en cada dirección	% ESAL's de 18 kips en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

f) Cálculo de la serviciabilidad del pavimento (ΔPsi)

$$\Delta\text{Psi} = \text{Po} - \text{Pt}$$

Po = Serviciabilidad inicial; 4,5 para pavimento rígido.

Pt = Serviciabilidad final; 2 para caminos de menor tránsito.

g) Cálculo del módulo de elasticidad (E_c)

$f'c$ = Resistencia a compresión $\frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$

$$E_c = 5700 \times \sqrt{f'c} \text{ (Psi)}$$

h) Coeficiente de drenaje

$C_d = 1$ (Buena calidad de drenaje)

i) Se calcula el nivel de confiabilidad según el tipo de camino

Tabla 2.17. Nivel de confiabilidad

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado (%)	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías libres	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 90	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

j) Cálculo Módulo resiliente efectivo de la subrasante

$$M_R \text{ (Psi)} = 1500 \times \text{C. B. R} \quad (\text{C. B. R.} < 10\%)$$

k) Escogemos el tipo de berma para obtener el Coeficiente de transferencia de carga

Tabla 2.18. Coeficiente de transferencia de carga

Berma	Asfalto		PCC unido	
	Si	No	Si	No
Dispositivo de transferencia de cargas				
Tipo de pavimento				
Simple con juntas y reforzado con juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
CRCP	2,9 - 3,2	N/A	2,3 - 2,9	N/A

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

l) Cálculo del módulo de reacción efectivo de la subrasante

Tabla 2.19. Valores típicos de módulo elástico de la base y pérdida de soporte (LS)

Tipo de material	Pérdida de soporte (LS)
Base granular tratada con cemento (E=1 000 000 a 2 000 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Mezclas de agregado y cemento (E=500 000 a 1 000 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Base tratada con asfalto (E=350 000 a 1 000 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Mezclas estabilizadas con materiales bituminosos (E=40 000 a 300 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Mezclas estabilizadas con cal (E=20 000 a 70 000 lb/plg ²)	1,0 a 3,0
Materiales granulares no aglomerados (E=15 000 a 45 000 lb/plg ²)	1,0 a 3,0
Materiales de grano fino o subrasante natural (E=3 000 a 40 000 lb/plg ²)	2,0 a 3,0

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Datos para ingresar al ábaco:

Para materiales granulares no aglomerados E (Psi) =

Perdida de soporte LS =

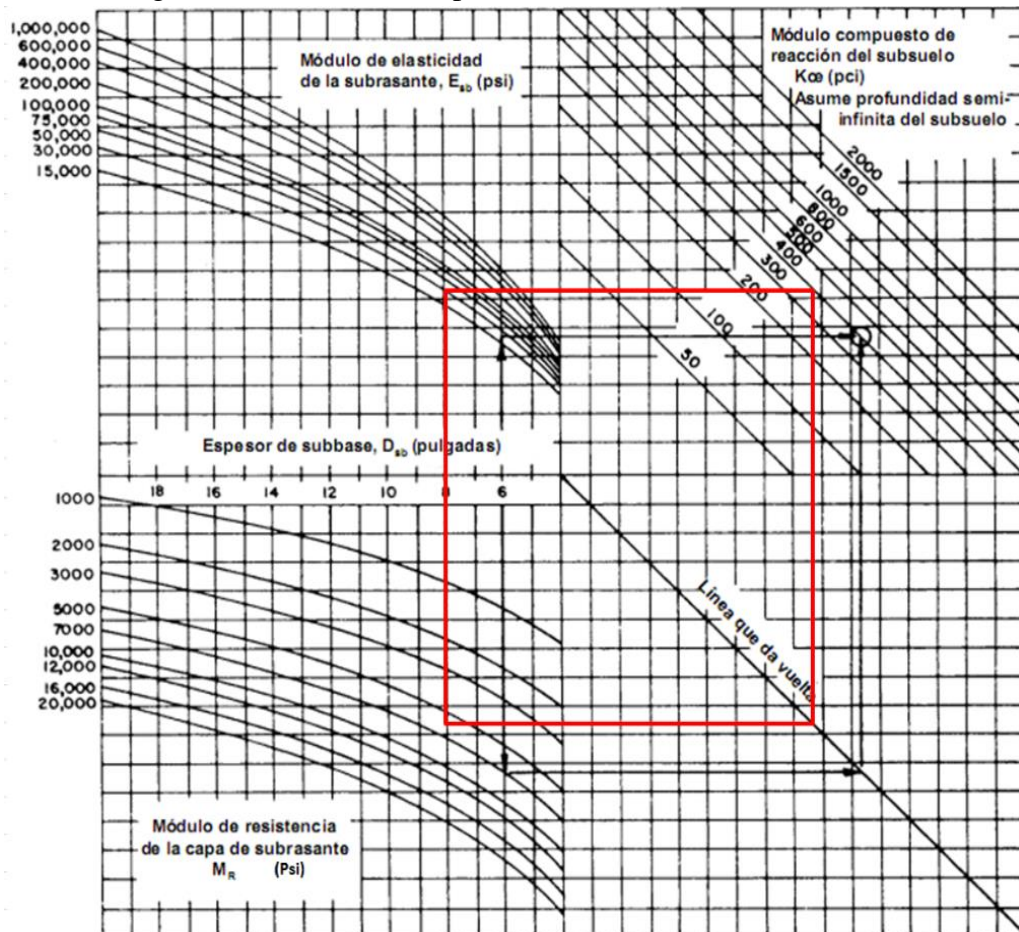
Módulo de reacción de subrasante (MR) (Psi) =

Espesor Base (e) (plg) =

k_{∞} (lb/plg³) =

Ábaco:

Figura 2.16. Módulo compuesto de reacción de la subrasante



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Módulo resiliente de subrasante:

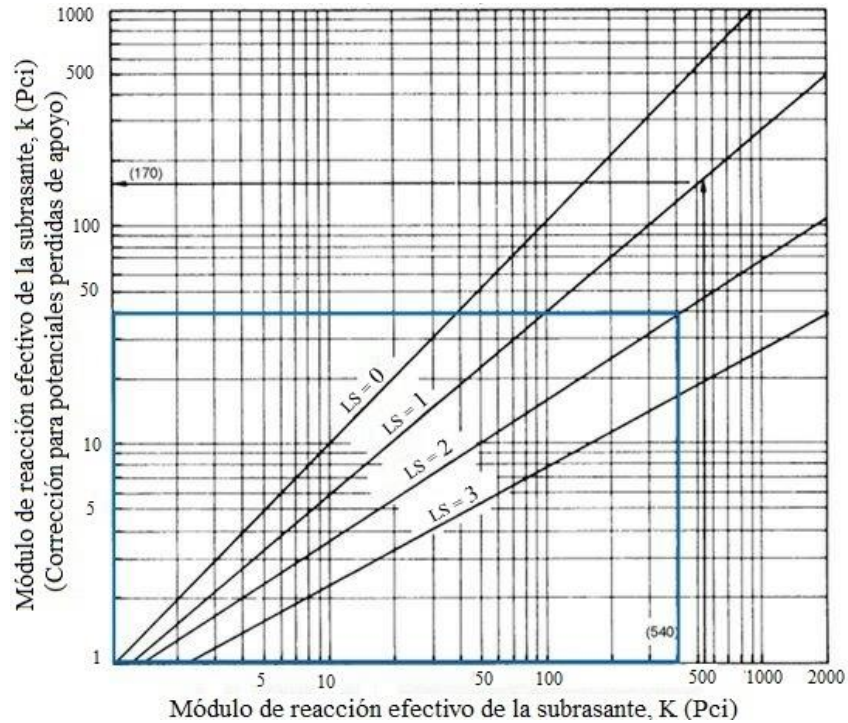
MR (Psi) =

Módulo compuesto de reacción de subrasante:

k_{∞} (Psi) =

m) Corrección del módulo efectivo de reacción de subrasante

Figura 2.17. Gráfico para la corrección del módulo efectivo de reacción de subrasante



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Factor de pérdida de apoyo de subbase =

Módulo de reacción compuesto "efectivo" de subrasante:

$$K \text{ (Psi)} = \text{(tabla 2.20)}$$

n) Diseño del pavimento

Para el diseño, tenemos los siguientes datos:

Módulo de reacción de la subrasante (k) (Psi) =

Módulo de elasticidad del concreto (E_c) (Psi) =

Módulo de rotura S_c (Psi) =

Coefficiente de transmisión de carga (J) =

Coefficiente de drenaje (Cd) =

Confiabilidad (R) (%) =

Serviciabilidad (ΔPSI) =

W18 (Psi) =

Figura 2.18. Ventana principal del software para diseño de pavimentos AASHTO 1993

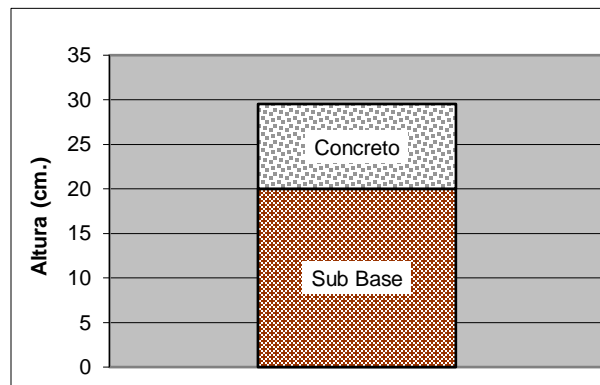
Fuente: Software AASHTO 1993

o) Obtenemos el espesor del pavimento de concreto:

Sub-base D (cm) =

Concreto D (cm) =

Figura 2.19. Distribución en altura de las capas



Fuente: Elaboración propia

2.8. MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND (PCA) PARA EL DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO RÍGIDO

A continuación, se describen los lineamientos generales del método del Portland Cement Association (PCA). Los factores de diseño se muestran a continuación:

2.8.1. Resistencia a la flexión del concreto

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, que controla el agrietamiento del pavimento bajo la repetición de cargas.

El alabeo del pavimento de concreto bajo las cargas del tráfico provoca esfuerzos tanto de compresión como de flexión. Sin embargo, la proporción de los esfuerzos a compresión contra la resistencia a la compresión del concreto es mínima como para influir en el diseño de espesor de la losa.

En cambio, la relación de los esfuerzos a flexión contra la resistencia a la flexión del concreto es mucho más alta y frecuentemente excede valores de 0,5 por este motivo los esfuerzos y la resistencia a la flexión son los empleados para el diseño de espesores.

El diseñador no aplica directamente estos efectos, sino que simplemente ingresa el valor de la resistencia promedio a los 28 días, que en nuestro país se recomienda como mínimo 41 kg/cm^2 (583 Psi) y como máximo 50 kg/cm^2 (711 Psi).

Figura 2.20. Curva de desarrollo de resistencia a la flexión a través del tiempo



Fuente: Diseño de espesores para pavimentos de hormigón método de la Portland Cement Association

2.8.2. Terreno de apoyo o base

El soporte dado a los pavimentos de concreto por la base y la sub-base, es el segundo factor en el diseño de espesores. El terreno de apoyo está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Westergaard (k). Es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada de un área cargada (un plato de 30” de diámetro) dividido entre la deformación en pulgadas que provoca dicha carga.

Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (Psi / plg) o más comúnmente, por libras por pulgada cúbica (Pci).

Tabla 2.20. Correlación entre el tipo de material, CBR y K

Correlación entre el valor del Módulo Resiliente con el ensayo de CBR					
Clasificación ASSHTO	Descripción	Clasif. S.U.	Densidad seca (kg/m ³)	CBR (%)	Valor K (Psi/plg)
A-1-a, bien graduada	Grava	GW,	125 - 140	60 - 80	300 - 450
A-1-a, mal graduada		GP	120 - 130	35 - 60	300 - 400
A-1-b	Arena gruesa	SW	110 - 130	20 - 40	200 - 400
A-3	Arena fina	SP	105 - 120	15 - 25	150 - 300
A-2 Material granular con alto contenido de finos					
A-2-4, gravoso	Grava limosa	GM	130 - 145	40 - 80	300 - 500
A-2-5, gravoso	Grava areno limosa				
A-2-4, arenoso	Arena limosa	SM	120 - 135	20 - 40	300 - 400
A-2-5r arenoso	Arena gravo limosa				
A-2-6r gravoso	Grava arcillosa	GC	120 - 20	20 - 40	200 - 450
A-2-7, gravoso	Grava arena arcillosa				
A-2-6, arenoso	Arcilla arenosa	SC	105 - 130	10 - 20	150 - 350
A-2-7, arenoso	Arcilla grava arenosa				
Suelos finos:					
A - 4	Limo	ML, OL	90 - 105	4 - 8	25 - 165*
	Mezclas de limo/arena/grava		100 - 125	5 - 15	40 - 220*
A - 5	Limo mal graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 - 190*
A - 6	Arcilla plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 - 255*
A-7-5	Arcilla elástica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	5 - 15	25 - 255*
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH, OH	80 - 110	3 - 5	40 - 220*

Fuente: Diseño de espesores para pavimentos de hormigón método de la Portland Cement Association

2.8.3. Período de diseño

El término de período de diseño es algunas veces considerado sinónimo del término período de análisis de tráfico. Dado que el tráfico muy probablemente no puede ser supuesto con precisión por un período muy largo, el período de diseño de 20 años es el comúnmente empleado en el procedimiento de diseño de pavimentos.

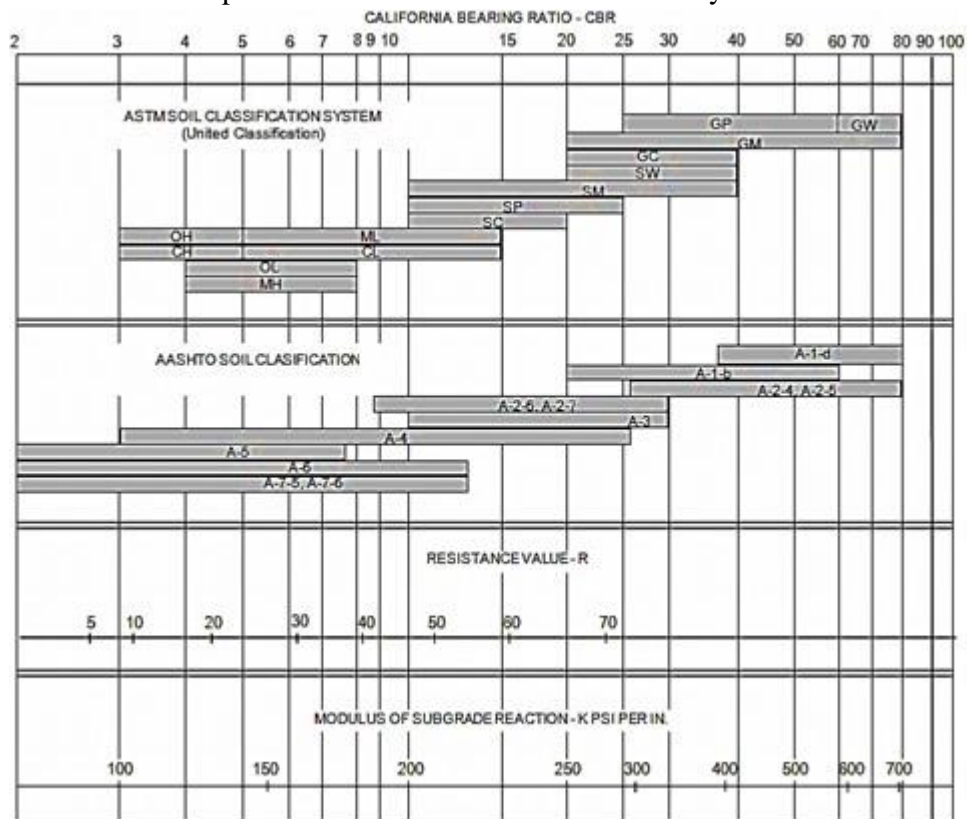
El período de diseño seleccionado afecta el espesor de diseño ya que determina por cuantos años y por ende cuantos camiones deberá servir el pavimento.

Tabla 2.21. Períodos de análisis

Clasificación de la vía	Periodo de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30-50
Rural de alto volumen de tráfico	20-50
Pavimento de bajo volumen de tráfico	15-25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10-20

Fuente: Diseño de espesores para pavimentos de hormigón método de la Portland Cement Association

Figura 2.21. Relación aprox. entre las clasificaciones del suelo y sus valores de resistencia



Fuente: Diseño de espesores para pavimentos de hormigón método de la Portland Cement Association

2.8.4. Número de repeticiones esperadas para cada eje

Toda la información referente al tráfico termina siendo empleada para conocer el número de repeticiones esperadas durante todo el período de diseño de cada tipo de eje. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito como lo es el TPDA, el % que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el período de diseño.

Repeticiones Esperadas

$$Re = TPDA \times \%Te \times FS \times FC \times 365$$

Donde:

TPDA = Tránsito promedio diario anual.

% Te = % del TPDA para cada tipo de eje.

FS = Factor de sentido.

FC = Factor de carril.

Pd = Período de diseño.

FCA = Factor de crecimiento anual.

2.8.5. Factor de crecimiento anual (FCA)

Para conocer el factor de crecimiento anual se requiere únicamente del período de diseño en años y de la tasa de crecimiento anual. Con estos datos podemos saber el factor de crecimiento de manera rápida con la ayuda de la tabla 2.22 que presenta relaciones entre tasas de crecimiento anual y factores de crecimiento anual para períodos de diseño de 20 y 40 años.

Si se desea obtener el factor de crecimiento anual del tráfico (FCA) de manera más exacta, se puede obtener a partir de la siguiente fórmula:

$$FCA = \frac{(1+g)^n - 1}{g \times n}$$

Donde:

n = Vida útil en años, factor de crecimiento anual para 20 años

g = Tasa de crecimiento anual, en %

Tabla 2.22. Factores de crecimiento anual, según la tasa de crecimiento anual

Tasas de crecimiento anual de tráfico y sus correspondientes factores de crecimiento		
Tasa de crecimiento anual de tráfico %	Factor de crecimiento anual para 20 años	Factor de proyección anual para 40 años
1	1,1	1,2
1 1/2	1,2	1,3
2	1,2	1,5
2 1/2	1,3	1,6
3	1,3	1,8
3 1/2	1,4	2,0
4	1,5	2,2
4 1/2	1,6	2,4
5	1,6	2,7

Fuente: Diseño de espesores para pavimentos de hormigón método de la Portland Cement Association

2.8.6. Factor de sentido

El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de sentido de 0,5 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1,0.

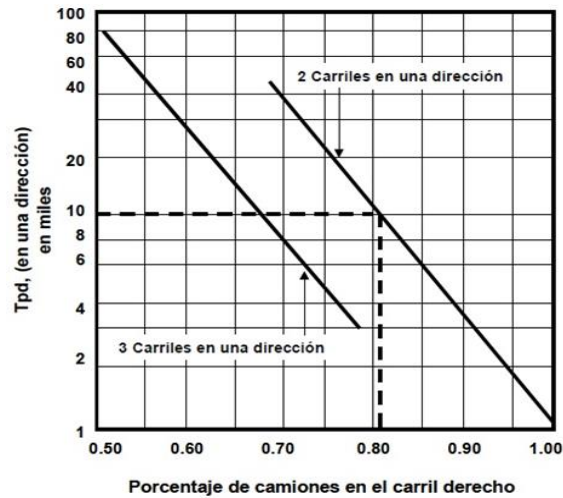
En el caso de vialidades de doble sentido generalmente se asume que el tránsito (en sus diferentes tipos y pesos) viajan en igual cantidad para cada dirección (FS= 0,5). Sin embargo esto puede no aplicar en algunos casos especiales en que muchos de los camiones viajan cargados en una dirección y regresan vacíos, Si éste es el caso, se deberá hacer el ajuste apropiado y tomar en cuenta el sentido con mayor tráfico.

2.8.7. Factor de carril

Después de verse afectado el tráfico por el factor de sentido, también debemos de analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril. El factor de carril nos va a dar el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el carril con más tráfico.

Para esto, la PCA recomienda emplear la figura 2.22 en donde este factor depende del número de carriles por sentido o dirección del tráfico y del tránsito promedio diario anual en un solo sentido.

Figura 2.22. Vehículos circulando por el carril de baja vel. en una vialidad de 2 o 3 carriles



Fuente: Diseño de espesores para pavimentos de hormigón método de la Portland Cement Association

2.8.8. Factor de seguridad de carga

Una vez que se conoce la distribución de carga por eje, es decir ya que se conoce cuantas repeticiones se tendrán para cada tipo y peso de eje, se utiliza el factor de seguridad de carga para multiplicarse por las cargas por eje.

Los factores de seguridad de carga recomendados son:

Casos especiales con muy altos volúmenes de tráfico pesado y cero mantenimientos.

Para autopistas o vialidades de varios carriles en donde se presentará un flujo ininterrumpido de tráfico y altos volúmenes de tráfico pesado.

Autopistas y vialidades urbanas con volúmenes moderados de tráfico pesado.

Caminos y calles secundarias con muy poco tráfico pesado.

2.8.9. Procedimiento de diseño

El método descrito en esta sección es empleado una vez que ya tenemos los datos del tráfico esperado, como lo es el tránsito diario promedio anual, la composición vehicular del tráfico y de esta información obtenemos el número de repeticiones esperadas para cada tipo de eje durante el período de diseño.

El formato empleado para resolver el diseño de pavimentos, el cual requiere de conocer algunos factores de diseño, como:

Tipo de junta y acotamiento.

Resistencia a la flexión del concreto (MR) a 28 días.

El valor del módulo de reacción K del terreno de apoyo.

Factor de seguridad de la carga (LSF).

Nº de repeticiones esperadas durante el período de diseño, para cada tipo y peso de eje.

El método considera dos criterios de diseño:

Fatiga

Erosión

El análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga) influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios independientemente de si las juntas tienen o pasajuntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas en las juntas.

El análisis por erosión (el responsable de controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de las juntas) influye principalmente el diseño de pavimentos con tráfico mediano a pesado con transferencia de carga por trabazón de agregados (sin pasajuntas) y pavimentos de tráfico pesado con pasajuntas.

Para pavimentos que tienen una mezcla normal de pesos de ejes, las cargas en los ejes sencillos son usualmente más severas en el análisis por fatiga y las cargas en ejes tándem son más severas en el análisis por erosión.

Los análisis de esfuerzo y fatiga deben ser menores al 100% según el método para verificar que la altura de losa asumida es apta para construir.

2.8.10. Descripción del software BS-PCA

La pantalla principal de software BS-PCA es la siguiente:

Figura 2.23. Ventana de inicio de software BS-PCA

Fuente: Elaboración propia

Datos de entrada

Los datos de entrada para efectuar el diseño de un pavimento rígido son los siguientes:

Resistencia del apoyo

Se podrá introducir el valor K correspondiente a la resistencia de la capa de subrasante o subbase en cuales quiera de las siguientes unidades: Mpa/m, t/m^3 , Pci.

Módulo de rotura de la losa

Valor que corresponde al módulo de rotura de la losa a construir, puede estar dada en las siguientes unidades: Mpa, kg/cm^2 , Psi.

Figura 2.24. Introducción de datos en el software BS-PCA

Fuente: Elaboración propia

Bermas

Se tendrá la posibilidad de seleccionar si el pavimento tendrá bermas. Con Bermas

Pasadores

Se tendrá la posibilidad de seleccionar si el pavimento tendrá pasadores. Con Pasadores

Tránsito

El sistema permite la entrada de las cargas de tránsito a ser soportadas por los pavimentos discriminados por ejes sencillos, tándem y tridem dadas en Kn, t o Kips.

Figura 2.25. Introducción de la unidad de peso del tránsito



Fuente: Elaboración propia

Para cada uno de los ejes se deberán digitar las cargas y repeticiones resultantes del análisis de tránsito de la vía en estudio.

Figura 2.26. Introducción de datos del tránsito



#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	133	6310
2	125	14690
3	115	30130
4	107	64380
5	98	106900
6	89	235700
7	80	307200
8		
9		
10		
11		

Fuente Elaboración propia

El tránsito introducido podrá ser modificado por dos factores que permiten mayorar las cargas o las repeticiones así:

Factor de seguridad de carga: Valor que afectará las cargas por eje del tránsito

Factor de Seguridad Carga :

Factor de mayoración de repeticiones: Valor que permitirá mayorar las repeticiones de carga por eje digitadas

Factor de Mayoración de Repeticiones :

Los resultados se mostrarán en la parte inferior de la pantalla principal del sistema:

Total Consumo Esfuerzo (%):
 Total Consumo Erosión (%):

Tablas usadas para introducir los datos en el programa:

Tabla 2.23. Esfuerzo equivalente para pavimentos sin apoyo lateral

Espesor de losa (plg)	k de la subrasante (Pci)																				
	50			100			150			200			30			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	825	76	510	720	585	456	671	542	437	834	518	428	584	486	416	523	457	414	484	443	412
4.5	699	588	436	810	500	383	571	400	356	540	435	346	488	406	336	448	378	331	417	303	328
5.0	602	548	287	534	430	528	480	580	105	487	478	283	432	248	282	380	224	272	384	507	288
5.5	526	481	347	484	387	283	431	353	288	208	331	253	378	305	240	343	278	233	310	284	228
6.0	465	418	315	411	348	201	382	316	237	382	208	223	330	271	206	384	246	108	285	232	103
6.5	417	380	286	387	317	238	341	286	214	324	207	201	380	244	186	273	220	173	250	207	108
7.0	375	340	207	331	200	219	387	202	100	282	244	183	272	222	107	240	488	154	231	180	148
7.5	340	323	247	300	268	203	279	241	181	265	224	168	246	203	153	224	181	139	210	169	132
8.0	311	300	230	274	249	186	255	223	168	242	208	158	225	188	141	205	167	126	192	155	120
8.5	285	281	215	152	232	117	234	208	158	222	183	145	286	174	131	188	154	110	177	143	109
9.0	264	264	200	232	218	188	216	185	148	105	181	138	180	183	122	174	154	108	183	133	101
9.5	245	248	187	215	205	157	280	183	140	180	170	126	170	153	115	181	134	101	151	124	93
10.0	228	235	174	280	103	148	180	173	132	177	100	122	184	144	108	150	126	85	141	117	87
10.5	213	222	103	187	183	140	174	184	125	185	151	115	153	130	103	140	119	89	132	110	82
11.0	280	211	153	175	174	132	183	163	110	154	143	110	144	120	98	131	113	85	123	104	78
11.5	188	201	142	165	165	125	153	148	113	145	138	104	135	122	93	123	107	80	110	98	74
12.0	177	102	133	155	158	116	141	141	108	137	130	100	127	116	89	110	102	77	182	93	70
12.5	188	183	123	147	151	113	130	135	103	129	124	95	120	111	85	186	67	73	183	86	67
13.0	150	178	114	130	144	107	128	129	129	122	119	91	113	106	81	103	30	70	87	85	64
13.5	152	168	105	132	138	101	122	122	123	116	114	87	107	102	78	88	86	67	82	81	61
14.0	144	162	97	125	133	96	116	116	118	110	109	83	102	98	75	83	85	65	88	78	56

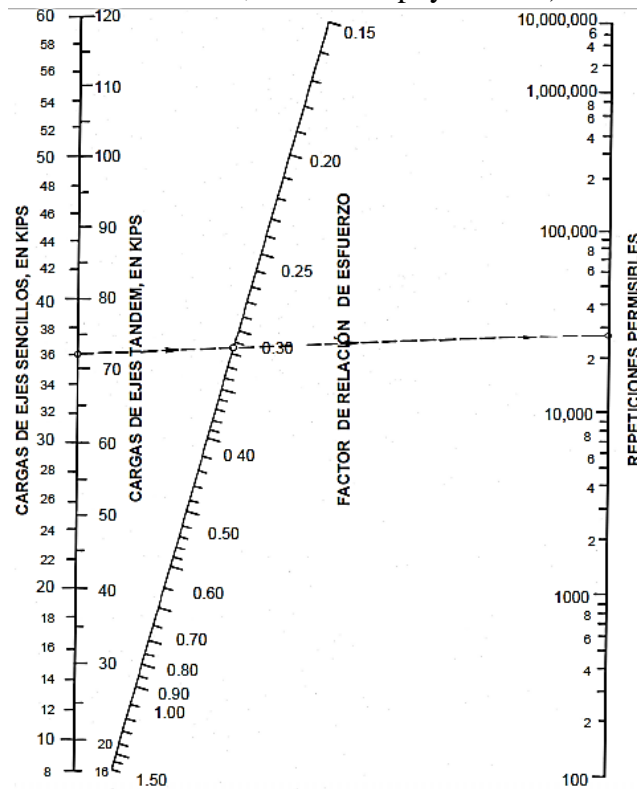
Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Tabla 2.24. Esfuerzo equivalente para pavimentos con apoyo lateral

Espesor de losa (plg)	k de la subrasante (Pci)																				
	50			100			150			200			30			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4,0	640	534	431	559	468	392	517	439	377	489	422	369	452	403	362	409	368	360	383	384	359
4,5	547	461	365	479	400	328	444	372	313	421	356	305	390	338	297	355	322	292	333	316	291
5,0	475	404	317	417	349	281	387	323	266	367	308	358	341	290	250	311	274	244	294	267	242
5,5	418	360	279	368	309	246	342	285	231	324	271	223	302	254	214	276	238	208	261	231	206
6,0	372	325	249	327	277	218	304	255	204	289	241	96	270	225	187	247	210	180	234	203	178
6,5	334	295	225	294	251	196	274	230	183	260	218	175	243	203	166	223	168	159	212	180	156
7,0	302	270	204	266	230	178	248	210	165	236	198	158	220	184	149	203	170	142	192	162	138
7,5	275	250	187	243	211	162	226	190	151	215	182	143	201	168	135	185	150	127	176	148	124
8,0	252	232	172	222	196	149	207	179	138	197	168	131	185	155	123	170	142	113	162	135	112
8,5	232	216	159	205	182	133	191	166	128	182	150	121	170	144	113	157	131	103	150	125	102
9,0	215	202	147	190	171	128	177	155	119	169	146	112	158	134	105	146	122	98	139	116	94
9,5	200	190	137	176	160	120	164	146	111	157	147	105	147	126	98	136	114	91	129	108	87
10,0	186	179	127	164	151	112	153	137	104	146	129	98	137	118	91	127	107	84	121	101	81
10,5	174	170	119	154	143	105	144	130	97	137	121	92	128	111	86	119	101	79	113	95	76
11,0	164	161	111	144	136	99	135	123	92	129	115	87	120	105	81	112	95	74	106	90	71
11,5	154	153	104	136	128	93	127	117	86	121	109	82	113	100	76	105	90	70	100	85	67
12,0	145	146	97	126	122	88	120	111	82	114	104	78	107	95	72	99	86	66	95	81	63
12,5	137	139	91	121	117	83	113	106	76	108	99	74	101	91	68	94	82	63	90	77	60
13,0	130	133	85	115	112	79	107	101	74	102	95	70	96	86	65	89	78	60	85	73	57
13,5	124	124	80	109	107	75	102	97	70	97	91	67	91	81	63	87	74	57	81	70	54
14,0	118	122	75	104	103	71	97	93	67	93	87	63	87	79	59	81	71	54	77	67	51

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Figura 2.27. Análisis de fatiga (repeticiones permisibles basadas en el factor de relación de esfuerzo, con o sin apoyo lateral)



Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Tabla 2.25. Factores de erosión, para pavimentos con pasajuntas y sin apoyo lateral

Espesor de losa (plg)	k de la subrasante (Pci)																	
	50			100			200			30			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3,74	3,83	3,89	3,73	3,79	3,82	3,72	3,75	3,75	3,71	3,73	3,70	3,70	3,70	3,61	3,68	3,67	3,53
4.5	3,59	3,70	3,78	3,07	3,65	3,69	3,56	3,61	3,62	3,50	3,58	3,57	3,54	3,55	3,66	3,52	3,53	3,44
5.0	3,45	3,58	3,68	3,43	3,52	3,58	3,42	3,48	3,50	3,41	3,45	3,46	3,40	3,42	3,40	3,38	3,40	3,34
5.5	3,33	3,47	3,59	3,31	3,41	3,49	3,29	3,36	3,40	3,28	3,33	3,36	3,27	3,30	3,30	3,26	3,28	3,25
6.0	3,22	3,38	3,51	3,19	3,31	3,40	3,18	3,26	3,31	3,17	3,23	3,26	3,15	3,20	3,21	3,14	3,17	3,16
6.5	3,11	3,29	3,44	3,09	3,22	3,33	3,07	3,16	3,23	3,06	3,13	3,18	3,05	3,10	3,12	3,03	3,07	3,08
7.0	3,02	3,21	3,37	2,99	3,14	3,26	2,97	3,08	3,16	2,96	3,05	3,10	2,95	3,01	3,04	2,94	2,98	3,00
7.5	2,93	3,14	3,31	2,91	3,06	3,20	2,88	3,00	3,09	2,87	2,97	3,03	2,86	2,93	2,97	2,84	2,90	2,93
8.0	2,85	3,07	3,26	2,82	2,99	3,14	2,80	2,93	3,03	2,79	2,89	2,97	2,77	2,85	2,90	2,76	2,82	2,86
8.5	2,77	3,01	3,20	2,74	2,93	3,09	2,72	2,86	2,97	2,71	2,82	2,91	2,69	2,78	2,84	2,68	2,75	2,79
9.0	2,70	2,96	3,15	2,67	2,87	3,04	2,65	2,80	2,92	2,63	2,76	2,86	2,62	2,71	2,78	2,61	2,68	2,73
9.5	2,63	2,90	3,11	2,60	2,81	2,99	2,58	2,74	2,87	2,56	2,70	2,81	2,55	2,65	2,73	2,54	2,62	2,68
10.0	2,56	2,85	3,06	2,54	2,76	2,94	2,51	2,68	2,83	2,50	2,64	2,76	2,48	2,59	2,68	2,47	2,56	2,63
10.5	2,50	2,81	3,02	2,47	2,71	2,90	2,45	2,63	2,78	2,44	2,59	2,72	2,42	2,54	2,64	2,41	2,51	2,58
11.0	2,44	2,70	2,98	2,42	2,67	2,86	2,39	2,58	2,74	2,38	2,54	2,68	2,30	2,49	2,59	2,35	2,45	2,54
11.5	2,38	2,72	2,94	2,36	2,62	2,82	2,33	2,54	2,70	2,32	2,49	2,64	2,30	2,44	2,55	2,29	2,40	2,50
12.0	2,33	2,68	2,91	2,30	2,58	2,79	2,28	2,49	2,67	2,26	2,44	2,60	2,25	2,39	2,51	2,23	2,36	2,46
12.5	2,28	2,64	2,87	2,25	2,54	2,75	2,23	2,45	2,63	2,21	2,40	2,56	2,19	2,35	2,48	2,18	2,31	2,42
13.0	2,23	2,61	2,84	2,20	2,50	2,72	2,18	2,41	2,60	2,16	2,36	2,53	2,14	2,30	2,44	2,13	2,27	2,39
13.5	2,18	2,57	2,81	2,15	2,47	2,68	2,13	2,37	2,56	2,11	2,32	2,49	2,09	2,26	2,41	2,08	2,23	2,35
14.0	2,13	2,54	2,78	2,11	2,43	2,65	2,08	2,34	2,53	2,07	2,29	2,46	2,05	2,23	2,38	2,03	2,19	2,32

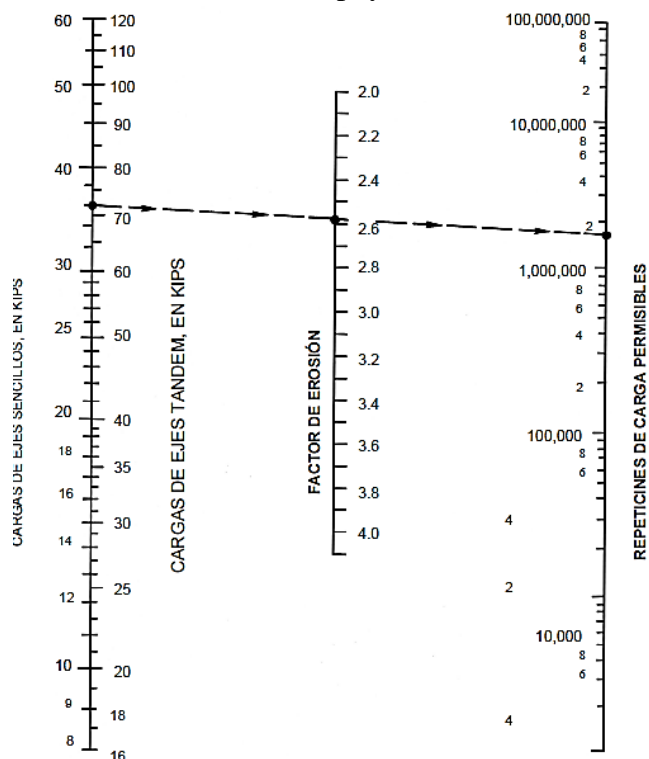
Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Tabla 2.26. Factores de erosión, para pavimentos sin pasajuntas y sin apoyo lateral

Espesor de losa (plg)	k de la subrasante (Pci)																	
	50			100			200			30			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3,94	4,03	4,06	3,91	3,95	3,97	3,88	3,89	3,88	3,86	3,86	3,82	3,82	3,83	3,74	3,77	3,80	3,67
4.5	3,79	3,91	3,95	3,76	3,82	3,85	3,73	3,75	3,76	3,71	3,72	3,70	3,68	3,68	3,63	3,64	3,65	3,56
5.0	3,66	3,81	3,85	3,63	3,72	3,75	3,60	3,64	3,66	3,58	3,60	3,60	3,55	3,55	3,52	3,52	3,52	3,46
5.5	3,54	3,72	3,76	3,51	3,62	3,66	3,48	3,53	3,56	3,46	3,49	3,51	3,43	3,44	3,43	3,41	3,40	3,37
6.0	3,44	3,64	3,68	3,40	3,53	3,08	3,37	3,44	3,48	3,35	3,40	3,42	3,32	3,34	3,35	3,30	3,30	3,29
6.5	3,34	3,56	3,61	3,30	3,46	3,50	3,26	3,36	3,40	3,25	3,31	3,34	3,22	3,25	3,27	3,20	3,21	3,21
7.0	3,26	3,49	3,54	3,21	3,39	3,43	3,17	3,29	3,33	3,15	3,24	3,27	3,13	3,17	3,20	3,11	3,13	3,14
7.5	3,18	3,43	3,48	3,13	3,32	3,37	3,09	3,22	3,26	3,07	3,17	3,20	3,04	3,10	3,13	3,02	3,06	3,08
8.0	3,11	3,37	3,42	3,05	3,26	3,31	3,01	3,16	3,20	2,99	3,10	3,14	2,96	3,03	3,07	2,94	2,99	3,01
8.5	3,04	3,32	3,37	2,98	3,21	3,25	2,93	3,10	3,15	2,91	3,04	3,09	2,88	2,97	3,01	2,87	2,93	2,96
9.0	2,98	3,27	3,32	2,91	3,16	3,20	2,86	3,05	3,09	2,84	2,99	3,03	2,81	2,92	2,95	2,79	2,87	2,90
9.5	2,92	3,22	3,27	2,85	3,11	3,15	2,80	3,00	3,04	2,77	2,94	2,98	2,75	2,86	2,90	2,73	2,81	2,85
10.0	2,86	3,18	3,22	2,79	3,06	3,11	2,74	2,95	3,00	2,71	2,89	2,93	2,68	2,81	2,85	2,66	2,76	2,80
10.5	2,81	3,14	3,18	2,74	3,02	3,06	2,68	2,91	2,95	2,65	2,84	2,89	2,62	2,76	2,81	2,60	2,72	2,76
11.0	2,77	3,10	3,14	2,69	2,98	3,02	2,63	2,86	2,91	2,60	2,80	2,84	2,57	2,72	2,77	2,54	2,67	2,71
11.5	2,72	3,06	3,10	2,64	2,94	2,90	2,58	2,82	2,87	2,55	2,76	2,80	2,51	2,68	2,72	2,49	2,63	2,67
12.0	2,68	3,03	3,07	2,60	2,90	2,95	2,53	2,78	2,83	2,50	2,72	2,76	2,46	2,64	2,68	2,44	2,59	2,63
12.5	2,64	2,99	3,03	2,55	2,87	2,91	2,48	2,75	2,79	2,45	2,68	2,73	2,41	2,60	2,65	2,39	2,55	2,59
13.0	2,60	2,96	3,00	2,51	2,83	2,88	2,44	2,71	2,76	2,40	2,65	2,69	2,36	2,56	2,61	2,34	2,51	2,56
13.5	2,56	2,93	2,97	2,47	2,80	2,84	2,40	2,68	2,73	2,36	2,61	2,66	2,32	2,53	2,58	2,30	2,48	2,52
14.0	2,53	2,90	2,94	2,44	2,77	2,81	2,36	2,65	2,69	2,32	2,58	2,63	2,28	2,50	2,54	2,25	2,44	2,49

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Figura 2.28. Análisis de erosión. (repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, sin apoyo lateral)



Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Tabla 2.27. Factores de erosión, para pavimentos con pasajuntas y con apoyo lateral

Espesor de losa (plg)	k de la subrasante (Pci)																	
	50			100			200			300			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3,28	3,30	3,33	3,24	3,20	3,20	3,21	3,13	3,13	3,19	3,10	3,10	3,15	3,09	3,05	3,12	3,08	3,00
4.5	3,13	3,19	3,24	3,09	3,08	3,10	3,06	3,00	2,99	3,04	2,96	2,95	3,01	2,93	2,91	2,98	2,91	2,87
5.0	3,01	3,09	3,16	2,97	2,98	3,01	2,93	2,89	2,89	2,90	2,84	2,83	2,67	2,79	2,79	2,85	2,77	2,75
5.5	2,90	3,01	3,09	2,05	2,09	2,94	2,81	2,79	2,80	2,79	2,74	2,74	2,76	2,68	2,67	2,73	2,65	2,64
6.0	2,79	2,93	3,03	2,75	2,82	2,87	2,70	2,71	2,73	2,68	2,65	2,66	2,65	2,58	2,58	2,62	2,54	2,54
6.5	2,70	2,86	2,97	2,65	2,75	2,82	2,61	2,63	2,67	2,58	2,57	2,59	2,55	2,50	2,50	2,52	2,45	2,45
7.0	2,61	2,79	2,92	2,56	2,68	2,76	2,52	2,56	2,61	2,49	2,50	2,53	2,46	2,42	2,43	2,43	2,38	2,37
7.5	2,53	2,73	2,87	2,48	2,62	2,72	2,44	2,50	2,56	2,41	2,44	2,47	2,38	2,36	2,37	2,35	2,31	2,31
8.0	2,46	2,68	2,83	2,41	2,56	2,67	2,36	2,44	2,51	2,33	2,38	2,42	2,30	2,30	2,32	2,27	2,24	2,25
8.5	2,39	2,62	2,79	2,34	2,51	2,63	2,29	2,39	2,47	2,26	2,32	2,38	2,22	2,24	2,27	2,20	2,18	2,20
9.0	2,32	2,57	2,75	2,27	2,46	2,59	2,22	2,34	2,43	2,19	2,27	2,34	2,16	2,19	2,23	2,13	2,13	2,15
9.5	2,26	2,52	2,71	2,21	2,41	2,55	2,16	2,29	2,39	2,13	2,22	2,30	2,09	2,14	2,18	2,07	2,08	2,11
10.0	2,20	2,47	2,67	2,15	2,36	2,51	2,10	2,25	2,35	2,07	2,18	2,26	2,03	2,09	2,15	2,01	2,03	2,07
10.5	2,15	2,43	2,64	2,09	2,32	2,48	2,04	2,20	2,32	2,01	2,14	2,23	1,97	2,05	2,11	1,95	1,99	2,04
11.0	2,10	2,39	2,60	2,04	2,28	2,45	1,99	2,16	2,29	1,95	2,09	2,20	1,92	2,01	2,08	1,89	1,95	2,00
11.5	2,05	2,35	2,57	1,99	2,24	2,42	1,93	2,12	2,26	1,90	2,05	2,16	1,67	1,97	2,05	1,84	1,91	1,97
12.0	2,00	2,31	2,54	1,94	2,20	2,39	1,88	2,09	2,23	1,85	2,02	2,13	1,62	1,93	2,02	1,79	1,87	1,94
12.5	1,95	2,27	2,51	1,89	2,16	2,36	1,84	2,05	2,20	1,81	1,98	2,11	1,77	1,89	1,99	1,74	1,84	1,91
13.0	1,91	2,23	2,48	1,85	2,13	2,33	1,79	2,01	2,17	1,76	1,95	2,08	1,72	1,86	1,96	1,70	1,80	1,88
13.5	1,86	2,20	2,46	1,81	2,09	2,30	1,75	1,98	2,14	1,72	1,91	2,05	1,68	1,83	1,93	1,65	1,77	1,86
14.0	1,82	2,17	2,43	1,76	2,06	2,28	1,71	1,95	2,12	1,67	1,88	2,03	1,64	1,80	1,91	1,61	1,74	1,83

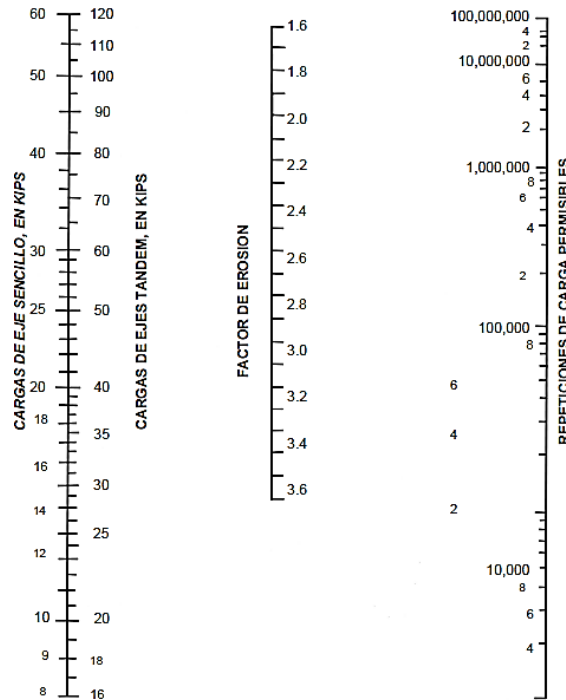
Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Tabla 2.28. Factores de erosión, para pavimentos sin pasajuntas y con apoyo lateral

Espesor de losa (plg)	k de la subrasante (Pci)																	
	50			100			200			30			500			700		
	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri	Sen	Tán	Tri
4.0	3,46	3,49	3,50	3,42	3,39	3,38	3,38	3,32	3,30	3,36	3,29	3,25	3,32	3,26	3,21	3,28	3,24	3,16
4.5	3,32	3,39	3,40	3,28	3,28	3,28	3,24	3,19	3,18	3,22	3,16	3,13	3,19	3,12	3,08	3,15	3,09	3,04
5.0	3,20	3,30	3,32	3,16	3,18	3,19	3,12	3,09	3,08	3,10	3,05	3,03	3,07	3,00	2,97	3,04	2,97	2,93
5.5	3,10	3,22	3,26	3,05	3,10	3,11	3,01	3,00	3,00	2,99	2,95	2,94	2,96	2,90	2,87	2,93	2,86	2,83
6.0	3,00	3,15	3,20	2,95	3,02	3,05	2,90	2,92	2,92	2,88	2,87	2,86	2,86	2,81	2,79	2,83	2,77	2,74
6.5	2,91	3,08	3,41	2,86	2,96	2,99	2,81	2,85	2,06	2,79	2,79	2,79	2,76	2,73	2,72	2,74	2,60	2,67
7.0	2,83	3,02	3,09	2,77	2,90	2,94	2,73	2,70	2,00	2,70	2,72	2,73	2,68	2,66	2,65	2,65	2,61	2,60
7.5	2,76	2,97	3,05	2,70	2,84	2,09	2,65	2,72	2,75	2,62	2,66	2,67	2,60	2,59	2,59	2,57	2,64	2,54
8.0	2,69	2,92	3,01	2,63	2,79	2,84	2,57	2,67	2,70	2,55	2,61	2,62	2,52	2,53	2,54	2,50	2,48	2,48
8.5	2,63	2,88	2,97	2,56	2,74	2,80	2,51	2,62	2,65	2,48	2,55	2,58	2,45	2,48	2,49	2,43	2,43	2,43
9.0	2,57	2,83	2,94	2,50	2,70	2,77	2,44	2,57	2,61	2,42	2,51	2,53	2,39	2,43	2,44	2,36	2,38	2,38
9.5	2,51	2,79	2,91	2,44	2,65	2,73	2,38	2,53	2,58	2,36	2,46	2,49	2,33	2,38	2,40	2,30	2,33	2,34
10.0	2,46	2,75	2,88	2,39	2,61	2,70	2,33	2,49	2,54	2,30	2,42	2,46	2,27	2,34	2,36	2,24	2,20	2,29
10.5	2,41	2,72	2,89	2,33	2,58	2,67	2,27	2,45	2,51	2,24	2,38	2,42	2,21	2,30	2,32	2,19	2,24	2,26
11.0	2,36	2,68	2,83	2,20	2,54	2,65	2,22	2,41	2,48	2,19	2,34	2,39	2,16	2,26	2,29	2,14	2,20	2,22
11.5	2,32	2,65	2,80	2,24	2,51	2,62	2,17	2,38	2,45	2,14	2,31	2,36	2,11	2,22	2,26	2,09	2,16	2,19
12.0	2,28	2,62	2,78	2,19	2,48	2,59	2,13	2,34	2,43	2,10	2,27	2,33	2,06	2,19	2,23	2,04	2,13	2,16
12.5	2,24	2,59	2,76	2,15	2,45	2,57	2,09	2,31	2,40	2,05	2,24	2,31	2,02	2,15	2,20	1,99	2,10	2,13
13.0	2,20	2,56	2,74	2,11	2,42	2,55	2,04	2,28	2,38	2,01	2,21	2,28	1,98	2,12	2,17	1,95	2,06	2,10
13.5	2,16	2,53	2,72	2,00	2,39	2,53	2,00	2,25	2,35	1,97	2,18	2,26	1,93	2,09	2,15	1,91	2,03	2,07
14.0	2,13	2,51	2,70	2,04	2,36	2,51	1,97	2,23	2,33	1,93	2,15	2,24	1,89	2,06	2,12	1,87	2,00	2,05

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

Figura 2.29. Análisis de erosión. (repeticiones permisibles basadas en el factor de erosión, con apoyo lateral)



Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

2.9. ESFUERZOS PRODUCIDOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

Cuando una carga se aplica sobre un área circular, los valores críticos de esfuerzo, deformación y deflexión ocurren en el eje de simetría bajo el centro del área circular. La carga aplicada a un pavimento por un neumático es similar a una placa flexible con radio y presión de contacto uniforme.

La teoría elástica se puede usar para determinar esfuerzos, deformaciones y deflexiones.

2.9.1. Esfuerzos producidos por las cargas de tránsito

Este tipo de esfuerzos están determinados por la localización de las cargas:

Interior: Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a los bordes.

Borde: Esto sucede cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa lejana a las esquinas.

Esquina: Ocurre cuando el centro de la carga está en la bisectriz del ángulo de la esquina.

Fórmulas de Westergaard ($\mu=0,15$) para el esfuerzo en el interior, borde y esquina de la losa

Interior (esfuerzo de tensión en el fondo de la losa)

$$\sigma_i = \frac{0,3162 P}{h^2} \times \left[4 \log \left(\frac{1}{b} \right) + 1,069 \right]$$

Borde (esfuerzo de tensión en el fondo de la losa)

$$\sigma_B = \frac{0,572 P}{h^2} \times \left[4 \log \left(\frac{1}{b} \right) + 0,359 \right]$$

Esquina (esfuerzo de tensión en la parte superior de la losa)

$$\sigma_e = \frac{3 P}{h^2} \times \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{1} \right)^{0,6} \right]$$

Donde:

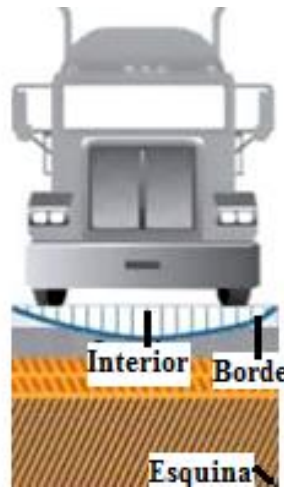
σ_i , σ_B , σ_e = Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas.

P = Carga por rueda.

h = Espesor de la losa.

- a = Radio del área cargada.
- L = Radio de rigidez relativa
- b = Radio de la sección resistente.
- $b = 1,6a + h^2 - 0,675 (h)$.

Figura 2.30. Localización de cargas en un pavimento



Fuente: Esfuerzos en pavimentos rígidos. Ing. Oscar Canchano A.

2.9.2. Esfuerzos producidos por cambios de temperatura

2.9.2.1. Alabeo provocado por gradiente térmico

Al cambiar la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura del pavimento y este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa, así el gradiente genera un alabeo en la losa. Dado que el peso propio de la losa y el contacto con la superficie de apoyo restringen el movimiento, se generan esfuerzos.

Se producen cuando un lecho de la losa y el otro están a temperatura diferente, produciendo un flujo de calor transversalmente a la losa. O cuando la temperatura ambiente sufre una alteración más o menos brusca.

Fórmulas de Bradbury para los esfuerzos de alabeo:

Borde de la losa

$$\sigma_t = \frac{C \times E \times \alpha \times \Delta_t}{2}$$

Interior de la losa

$$\sigma_t = \frac{E \times \alpha \times \Delta_t}{2} \left[\frac{(C1 + \mu C2)}{1 - \mu^2} \right]$$

Esquina de la losa

$$\sigma_t = \frac{E \times \alpha \times \Delta_t}{3(1 - \mu)} \left[\sqrt{\frac{a}{l}} \right]$$

Donde:

σ_t = Esfuerzo en el sitio considerado.

E = Módulo elástico del concreto.

A = Coeficiente de dilatación térmica del concreto (0,000005/°F).

Δt = Diferencia de temperatura entre las dos caras de la losa (gradiente).

C = Coeficiente que depende de la longitud de la losa. Y del radio de rigidez relativa.

C1 = Coeficiente en la dirección en la cual se calcula el esfuerzo.

C2 = Coeficiente en la dirección perpendicular a C1.

μ = Relación de Poisson del concreto.

a = Radio del área cargada en el borde de la losa.

l = Radio de rigidez relativa.

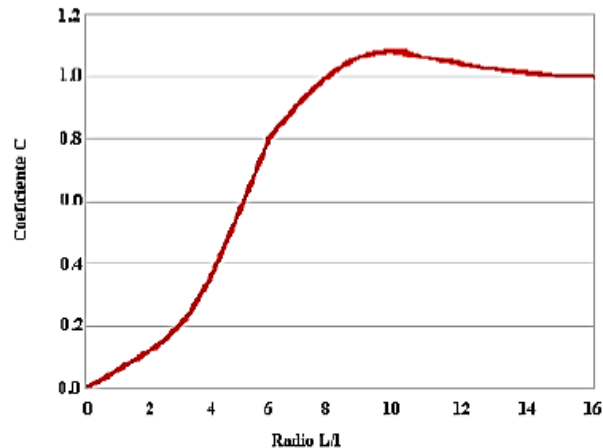
$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12(1 - \mu^2)k}}$$

h = Espesor de la losa.

k = Módulo de reacción de soporte.

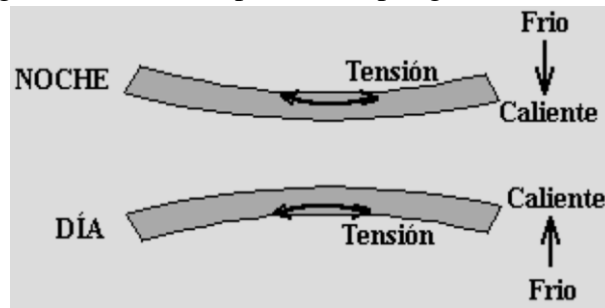
l = Radio de rigidez relativa.

Figura 2.31. Carta de Bradbury para la determinación de C, C1 y C2



Fuente: Esfuerzos en pavimentos rígidos. Ing. Oscar Canchano Almanza

Figura 2.32. Alabeo provocado por gradiente térmico



Fuente: Esfuerzos en pavimentos rígidos. Ing. Oscar Canchano Almanza

2.9.2.2. Contracción durante el fraguado

La fricción entre la losa y la fundación, debido a la caída de temperatura durante el fraguado de concreto, produce esfuerzos en el concreto y en la armadura que contenga. El diseño de la armadura de refuerzo de un pavimento rígido se basa en la consideración de los esfuerzos de fricción.

Fórmula para obtener el esfuerzo de fricción:

$$C = \frac{(\gamma_c)(L)(f_a)}{2}$$

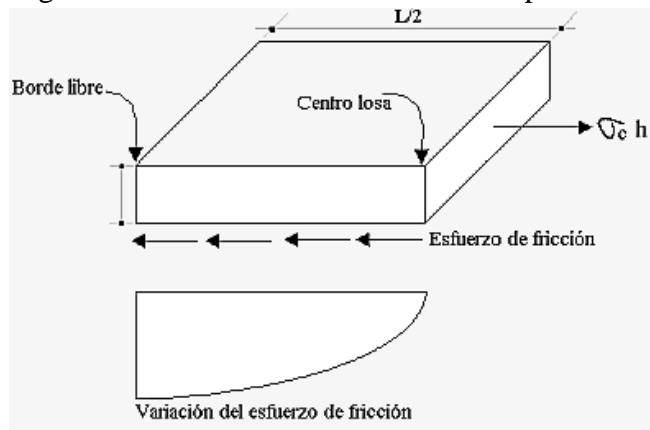
Donde:

L = Longitud de la losa

γ_c = Peso unitario del concreto

f_a = Coeficiente de fricción entre la losa y la subrasante (generalmente 1,5)

Figura 2.33. Esfuerzos de fricción en el pavimento



Fuente: Esfuerzos en pavimentos rígidos. Ing. Oscar Canchano Almanza

2.9.2.3. Expansión y contracción de las losas

Las aberturas de las juntas varían a causa de los cambios de temperatura, cambiando las condiciones de transferencia de carga.

El material usado como sello en las juntas deberá ser capaz de soportar, sin despegarse, los movimientos del concreto cuando su ceda la máxima contracción.

Fórmula para calcular la abertura (expansión) de las juntas:

$$\Delta L = CL(\alpha \times \Delta T + \delta)$$

Donde:

ΔL = Abertura de la junta o cambio en la longitud de la losa. (si $\Delta L > 1\text{mm}$, se requieren varillas de transferencia de carga).

C = Factor de ajuste debido a la fricción entre la losa y soporte (0,65 para subbase estabilizada y 0,80 para sub-base granular).

L = Longitud de la losa (espacio entre juntas).

α = Coeficiente de dilatación del concreto (aprox. $0,00001/^{\circ}\text{C}$).

ΔT = Rango máximo de diferencia de temperatura.

δ = Coeficiente de contracción del concreto (depende de la resistencia a la tracción).

Tabla 2.29. Valores del coeficiente de contracción (δ)

Edad del concreto (días)	
2	0,00015
7	0,00020
14	0,00025
28	0,00035
56	0,00045
900	0,00080

Fuente: Esfuerzos en pavimentos rígidos. Ing. Oscar Canchano Almanza

2.9.3. Esfuerzos producidos por cambios de temperatura

Durante el día, cuando la temperatura sobre la superficie de la losa es mayor que en la base, la superficie tiende a expandirse con respecto al eje neutro, mientras que la base tiende a contraerse.

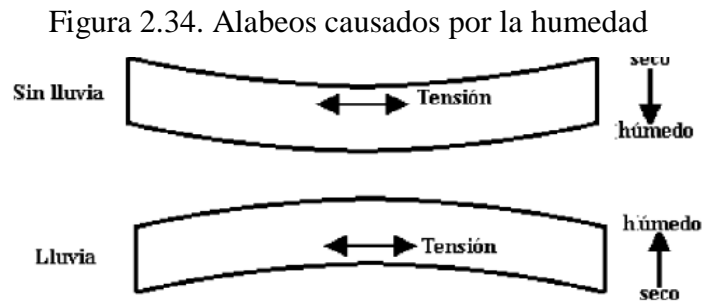
Los tipos de esfuerzos por temperatura son:

2.9.3.1. Alabeo por cambios de humedad

Estos esfuerzos suelen ser opuestos a los producidos por cambios de temperatura y en climas húmedos, la humedad de las losas es relativamente constante. En climas secos, la superficie se encuentra más seca que el fondo.

El cambio de volumen causado por la humedad tiene dos efectos importantes en el hormigón:

- Induce esfuerzos de tracción que producen fisuras en el hormigón.
- Hace que las juntas se abran y disminuye la eficiencia de la transferencia de carga.



Fuente: Pavement analysis and design-Yang H. Huang

2.10. TIPOS DE TRÁFICO VEHICULAR

2.10.1. Tránsito promedio diario (TPD)

Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección en un periodo de tiempo definido de un día, recibe la denominación de promedio cuando se hace un estudio por un tiempo mayor a un mes donde se repiten necesariamente los mismos días y aún más cuando el estudio se va a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA).

Si bien el concepto de TPD se estableció para estudios cuyo tiempo iba a ser de un año, en la práctica se han dado que normalmente para proyectos específicos de carreteras, aperturas de calles, ampliación de avenidas, etc. Se realicen estudios de volúmenes en periodos cortos menores a un año que sean igualmente significativos en sus valores.

2.10.2. Tránsito promedio horario (TPH)

La cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle en un espacio o tiempo determinado de una hora es el TPH, ese valor es mucho más sensible que el TPD, es decir el TPH nos puede dar valores de variación horaria donde se puede identificar las variaciones de volumen que se producen en cada hora a lo largo del día pudiendo también obtenerse cuales son las horas de mayor volumen u horas pico, cuales las de menor volumen u horas de baja intensidad, etc. El TPH tendrá un valor máximo que teóricamente tendría que ser utilizado para fines de diseño geométrico, sin embargo dado la posibilidad de que ese valor sea máximo solo se presente en pocas horas durante el día hacen que no sea un valor recomendable para el diseño.

2.11. PAVIMENTOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁFICO

El objetivo básico de las carreteras de bajo volumen (muchos de ellos no pavimentados), es proporcionar accesibilidad a zonas residenciales, pueblos, poblados, centros de servicio, centros industriales de explotación y variados tipos de zonas rurales. Además, deben permitir el tránsito de diferentes tipos de vehículos durante todas las estaciones del año, asegurar una movilidad y velocidad adecuada, garantizar seguridad a peatones, vehículos motorizados y no motorizados y controlar la emisión de polvo.

Una parte importante de los caminos de bajo volumen de tránsito se encuentra generalmente, en una proporción no pavimentados y otra proporción se encuentra con tratamientos superficiales o estructuras de pavimento asfáltico relativamente delgadas, sobre suelos arcillosos y arcillo-expansivos.

Para un proyecto de inversión en un camino de bajo volumen de tránsito se requiere en la actualidad cumplir con estándares mínimos de diseño geométrico, señalización y una ingeniería de diseño estructural de pavimentos adecuada que permita garantizar la durabilidad de la solución obtenida y a su vez justificar económicamente esa solución.

Dado que existe una necesidad de resolver problemas de una cantidad muy elevada de caminos de bajo volumen de tránsito, se deben considerar soluciones intermedias con estándares geométricos y estructura de pavimento menores a los mínimos.

2.11.1. Nivel de tránsito de vehículos para caminos de bajo volumen

Un pavimento se construye con la finalidad de brindar condiciones de circulación cómoda, segura y económica al tránsito que lo habrá de utilizar. En consecuencia, su diseño implica la estimación del número y características de los vehículos que puedan circular sobre él.

En nuestro país se cuenta con muy poca información de vías de bajo volumen de tránsito dado que se les brinda mayor importancia a las carreteras de alto volumen, no se cuenta con información de caminos secundarios de red municipal, por otro lado, si se cuenta con registros de la red nacional de la cual se determinó una categoría de carreteras de bajo volumen.

Las categorías de tránsito que se tuvieron en cuenta para los diseños de los pavimentos se indican en la Tabla 2.30, la cual se obtuvo a partir de los espectros de carga obtenidos con la distribución de pesos para los diferentes tipos de eje por cada 1000 camiones, en diferentes estaciones de peaje en el país, afectados por los respectivos factores de equivalencia establecidos por la AASHTO. El “TPDs” es el promedio diario, obtenido de un conteo de una semana, de los vehículos que pasan por una sección de la vía.

Tabla 2.30. Categorías de tránsito para la selección de espesores

Tipo de vía	TPDs	Ejes acumulados de 8,2 t
(Vt) - (E)	0 a 200	< 1000
(Vs) - (M o A) - (CC)	201 a 500	1000 a 1500000
(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	501 a 1000	1500000 a 5000000
(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	1001 a 2500	5000000 a 9000000
(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	2501 a 5000	9000000 a 17000000
(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	5001 a 10000	17000000 a 25000000
(Vp) - (A) - (AP-MC-CC)	Más de 10001	25000000 a 1000000000

Fuente: Manual de diseño de pavimento rígido

Donde:

Vt = Vía terciaria

Vs = Vía secundaria

Vp = Vía principal

E = Estrechas

M = Medias

A = Anchas

CC = Carreteras de 2 direcciones

MC = Carreteras multicarriles

AP = Autopistas

En las Tablas 2.31 y 2.32 se muestran la clasificación que se utiliza actualmente en el Estado de Washington y en Australia, respectivamente, para caminos de bajo volumen.

Tabla 2.31. Clasificación de tránsito vehicular aplicada en el Estado de Washington

Tipo de camino	Tipo de vehículo	Vehículos por día	Vehículos por año	EEq por año
Residencial	Vehículo liviano y carga liviana	500	200000	140
	Camiones y buses livianos	10	4000	80
	Camiones y buses pesados	-	-	-
Rural	Vehículo liviano y carga liviana	1500	500000	300
	Camiones y buses livianos	20	7000	1800
	Camiones y buses pesados	-	50	50
Secundario o recolector	Vehículo liviano y carga liviana	3500	1300000	900
	Camiones y buses livianos	100	36500	9000
	Camiones y buses pesados	20	7000	10000

Fuente: Manual de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito-Ing. Fabricio Leiva

Tabla 2.32. Clasificación de tránsito de diseño aplicado en Australia

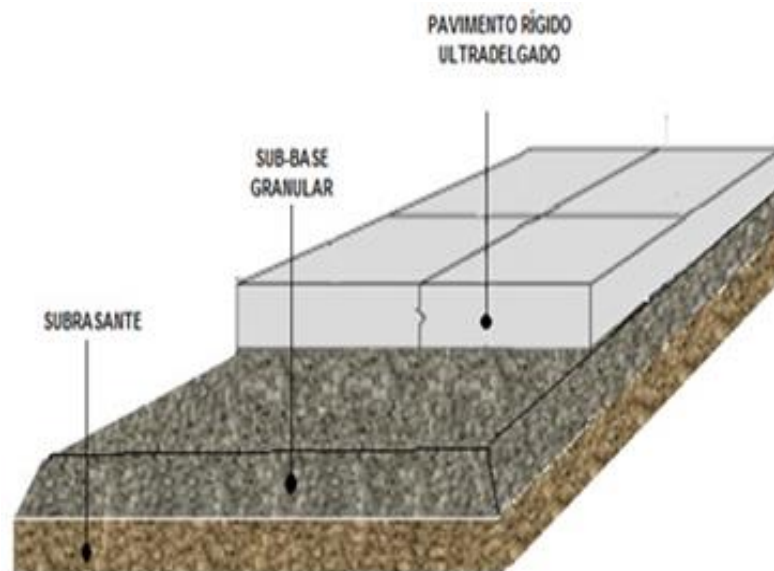
Tipo de camino	TPID	Porcentaje de vehículos pesados	ESAs para periodo de diseño
Carril único	30	3	1300
Menor con dos carriles	90	3	2000
Acceso local sin buses	400	4	19300
Acceso local con buses	500	6	48300
Acceso local en zona industrial	400	8	77200
Secundario sin buses	1200	6	152000
Secundario con buses	2000	7	355000
Periodo de diseño de 20 años Índice de crecimiento menor al 1,5% Vehículos pesados mayores a 3 t			

Fuente: Manual de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito-Ing. Fabricio Leiva

2.12. PAVIMENTOS ULTRADELGADOS

Los pavimentos ultradelgados de hormigón son losas de menor espesor que las tradicionales, según el Programa de Cooperativa Nacional de Investigación De Carreteras Washington DC 2004, considera ultradelgado a un espesor menor o igual a 10 cm, este dato está basado en la técnica de recubrimiento llamada Ultra-Thin Whitetopping (ultra delgados).

Figura 2.35. Estructura de un pavimento ultradelgado



Fuente: Análisis de rehabilitación de pavimentos con carpetas ultradelgadas de hormigón. Ing. Adolfo mancilla

Como este tipo de pavimento está hecho de un espesor menor a lo común no podría rendir estando hecho de la mezcla comúnmente conocida, así que para reforzar sus características tanto mecánicas como físicas se debe mezclar con un componente adicional en este caso las fibras, estas pueden ser de acero, vidrio o polipropileno, que conducirá no solo el rendimiento sino también el costo. Como resultado, en la selección del espesor debe equilibrar una serie de factores, incluyendo la carga de tráfico anticipada y la ubicación de la vía.

2.12.1. Ventajas de los pavimentos ultradelgados

Requiere de un menor tiempo para su construcción, ya que por su espesor se hace más

rápido el vaciado de la mezcla de esta manera se optimiza el tiempo no solo de los trabajadores sino también de la maquinaria.

Es una solución económica y rápida cuando se trata de caminos ubicados en la zona periférica de una ciudad, que han sido ignorados u olvidados por considerarse de menor importancia. El hormigón es un mejor material para trabajar que el cemento asfáltico, debido a que es más manejable y más fácil de trabajar.

2.12.2. Desventajas de los pavimentos ultradelgados

Debido a su espesor solo puede trabajar favorablemente ante un bajo tráfico y un mínimo de vehículos pesado, de lo contrario esto podría disminuir su tiempo de vida y causar daños de consideración.

Figura 2.36. Curado del pavimento ultradelgado



Fuente: Whitetopping. Universidad Politécnica de Ingeniería

2.13. RESEÑA HISTÓRICA DE LA APLICACIÓN DE LAS FIBRAS

La idea de reforzar con materiales fibrosos manufacturados se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después del secado al sol. Existen otros ejemplos históricos; revoques reforzados con pelo de caballo, o también con paja en las construcciones más precarias, para evitar fisuras antiestéticas.

En los años 50 se hicieron los primeros estudios sobre la utilización de fibras de acero y de vidrio en el hormigón, en los años 60 en cambio aparecen los primeros estudios sobre concreto reforzados con fibras sintéticas.

Con el transcurrir del tiempo y los años, las patentes van evolucionando y utilizando parámetros muy similares a los actuales, un ejemplo para este caso es la patente de G. Constatinesco en 1954 en Estados Unidos, utilizando fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia a la fisuración del concreto. En el inicio de los 50 fue una etapa de numerosas investigaciones referentes al concreto reforzado con fibras, los trabajos realizados y que destacaron en la época fueron de Romualdi, Batos y Mandel (1963).

No es hasta la década de los 70 que se comenzó a utilizar en los países europeos, sobre todo en España, donde se utilizaban las fibras en diversos proyectos: revestimiento de túneles, pavimentos industriales, pavimentos de tableros de puentes, contenedores de puentes, etc. Dentro de esta época resalta el registro de la patente de I. Kennedy (España) la cual consistía en la implementación del proceso Hatschek, el cual producía láminas de cemento reforzado con fibras de asbesto o amianto para elaborar concreto.

En la actualidad la construcción de estructuras elaboradas con concreto reforzados con fibras de acero viene teniendo gran éxito y aceptación, gracias a los diversos trabajos de investigación, revelando su aplicación en ramas militares, utilizándose concreto fibroreforzado en el blindado.

2.14. FIBRAS SINTÉTICAS

2.14.1. Concepto

Las fibras sintéticas o de polipropileno son compuestas por filamentos extremadamente finos, producidos a través de proceso de extrusión, su uso es indicado en concreto y argamasas, ya que reducen el índice de fisuras provocadas por la retracción y asentamiento. Esto se debe a su capacidad de retención de agua en el interior de estas. Además de eso propician un control sobre los fenómenos de exudación y segregación.

Las fibras sintéticas no sufren procesos de oxidación, son estables químicamente frente a todos los ataques y garantizan la durabilidad del hormigón de manera más efectiva que la fibra metálica, que tiene una baja resistencia a la corrosión cuando está expuesta a ambientes agresivos.

Figura 2.37. Fibra sintética Fibromac



Fuente: Elaboración propia

Las fibras se fabrican por procedimientos de alambre estirado con sección transversal circular o por extrusión de películas plásticas con sección transversal rectangular, y aparecen como bultos de fibrilados o como monofilamentos; las fibras fibriladas son formadas por la expansión de una película plástica que está separado en tiras, por eso los bultos de fibra en malla se forman, con sección transversal rectangular, los cuales son cortados en las longitudes especificadas y fibrilados, estando disponibles comercialmente en longitudes de 6,5 a 63,5 mm (Aulia 2002).

2.14.2. Clasificación de las fibras sintéticas

Las fibras se pueden clasificar por su material:

Polioléfina.- Son fibras rectangulares con relieve de 42 mm de largo, con un peso específico de 0,9-0,92 kg/dm³ y resistencia a la tracción igual a 550 Mpa.

Copolímero.- Son mono-filamentos de 54 mm de largo, con un peso específico de 0,91 kg/dm³ y resistencia a la tracción igual a 685-825 Mpa.

Polioléfina/Polipropileno.- Son fibras rectangulares lisas de 38 mm de largo, con un peso específico de 0,91 kg/dm³ y resistencia a la tracción igual a 517-545 Mpa.

Macro sintéticas.- Son rectangulares de 40 mm de largo, con un peso específico de 0,91 kg/dm³ y resistencia a la tracción igual a 620-758 Mpa.

2.14.3. Características de las fibras sintéticas

Especificaciones proporcionadas por el fabricante MACCAFERRI

Tabla 2.33. Propiedades físicas

Propiedades físicas de las fibras sintéticas		
Diámetro	µm	18
Sección		Circular
Largo	mm	12
Alargamiento	%	80
Materia-prima		polipropileno
Peso específico	gr/cm ³	0,91

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

Tabla 2.34. Características técnicas

Características técnicas de las fibras sintéticas	
Materia prima	Polipropileno monopolirnerio
Peso específico	0,91 gr/cm ³
Temperatura de fusión	160 °C
Resistencia a la tracción	300 Mpa (Nmm ²)
Módulo de Young	3 Gpa
Muy buena resistencia a los ácidos, alcalinos y sales	

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

Tabla 2.35. Propiedades mecánicas de las fibras

Propiedades mecánicas de las fibras sintéticas		
Temperatura de fusión	°C	160
Resistencia a la tracción	Mpa (N/mm ²)	300
Módulo de Yang	Mpa	3000

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

2.14.4. Ventajas del uso de fibras sintéticas (polipropileno)

Son muy económicos con respecto a otras fibras como las de acero.

Son químicamente inertes.

Son muy estables en el medio alcalino que supone el hormigón, presentando una

superficie hidrófoba, por lo que no absorbe agua durante la mezcla ni el posterior fraguado.

La baja densidad de las fibras hace que esta quede embebida en el hormigón durante el vibrado, de forma que no aflora a la superficie en contacto con el molde, en consecuencia la estética de la pieza permanece inalterada.

Otra de las características de estas fibras, cuando han sido tratadas, es que son 100% ecológicas y reciclables, de esta forma no dañan el medio ambiente; son también resistentes a los rayos UV.

Mejora resistencia de agrietamiento.

Reduce o limita ancho de grieta.

Capacidad del hormigón de seguir tomando cargas una vez agrietado. En el caso de pavimentos aumenta la capacidad de la losa.

2.14.5. Desventajas del uso de fibras sintéticas (polipropileno)

Bajo módulo de elasticidad.

Es susceptible a la degradación por luz, calor y oxígeno; debido a esto, es necesario añadirle un antioxidante y un estabilizador a la luz ultravioleta, lo que encarece la producción. Se degrada bajo la acción de los rayos UV y, algunas de ellas, tienen un punto de vitrificación a -20°C , dependiendo del material con el que estén fabricadas.

Al no absorber agua durante la mezcla ni el posterior fraguado, supone a su vez un inconveniente en cuanto a la adherencia de las fibras a la matriz cementosa.

Reducción del asentamiento de cono, magnitud que depende fundamentalmente de la cantidad, composición y geometría de la fibra.

El mezclado del hormigón se torna más dificultoso.

Falta de homogeneidad en la distribución de fibras, por posible formación de grumos o nidos, impidiendo que se dispersen correctamente, esto comúnmente sucede cuando las

fibras son introducidas muy rápidamente.

Incorpora cierta cantidad de aire.

2.15. FIBRAS METÁLICAS

2.15.1. Concepto

Las fibras de acero se definen como pequeños pedazos discontinuos de acero. Son elementos con la característica que presentan una dimensión predominante respecto a las demás, cuya superficie puede ser lisa o labrada para conseguir una mayor adherencia a la matriz cementante en caso de hormigones reforzados con fibras.

Figura 2.38. Fibra metálica Wirand



Fuente: Elaboración propia

Las fibras de acero destinadas a reforzar el concreto se definen como longitudes cortas y discretas de acero que tiene una relación de aspecto (relación de longitud/diámetro) de aproximadamente 20 a 100, con diferentes secciones transversales, y que son lo suficientemente pequeños para ser dispersadas al azar en una mezcla sin endurecer, utilizando procedimientos habituales de mezclado.

2.15.2. Clasificación de las fibras

La norma ASTM A820 cita una clasificación para cuatro tipos de fibras de acero según su proceso de fabricación los cuales son:

Tipo I.- Las fibras de alambre conformadas en frío son las más fácilmente encontradas en el mercado, fabricadas de alambre de acero conformado.

Tipo II.- Las fibras cortadas de chapas se fabrican como el propio nombre dice: las fibras de acero se cortan de las chapas de acero.

Tipo III.- Las fibras extraídas de fundición, las cuales se fabrican por técnicas relativamente complicadas donde una rueda en rotación se usa para levantar el metal líquido de una superficie de metal fundido, a través de la acción de capilaridad. El metal fundido extraído se congela rápidamente en forma de fibras y se quita de la rueda por la fuerza centrífuga. Las fibras resultantes tienen una sección transversal en forma de medialuna.

2.15.3. Características de las fibras metálicas

Tabla 2.36. Características físicas y técnicas de las fibras con terminación en gancho

Fibra metálica con terminación en gancho	
Límite elástico	1100 N/mm ²
Punto de fusión	1500 °C
Longitud	30 o 50 mm +/- 2,00 mm
Diámetro	0,50 - 1,30 mm +/- 0,20 mm
Longitud plana	20 o 38 mm +/- 1,00 mm
Longitud terminación	4,5 o 6,5 mm +/- 1,00 mm
Angulo terminación	mínimo 45°
Sección	Circular

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

Tabla 2.37. Características físicas y técnicas de las fibras metálicas ondulada sección circular

Fibra de metálica ondulada sección circular	
Límite elástico	1100 N/mm - 21400 N/mm ²
Punto de fusión	1500 °C
Longitud	20-70mm +/- 2,0mm
Diámetro	0,40-1,30 mm +/- 0,2 mm
Longitud de la onda	7,0mm +/- 1,0mm
Amplitud	2,0mm +/- 1,0mm
Angulo de la onda	mínimo 45 °C
Sección	Circular

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

Tabla 2.38. Características físicas y técnicas de las fibras metálicas ondulada plana

Fibra de metálica ondulada plana	
Longitud	50 mm
Diámetro	1 mm
Esbeltez	50
Resistencia a la tensión	152,000 Psi (1010 Mpa)

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

Tabla 2.39. Características físicas y técnicas de las fibras metálicas serradas

Fibra de metálica serrada	
Límite elástico	1100 N/mm ²
Punto de fusión	1500°C
Longitud	20-70 mm +/- 2,0 mm
Diámetro	0,40-1,30 mm +/- 0,2 mm
Sección	Circular

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

Tabla 2.40. Características físicas y técnicas de las fibras metálicas recta

Fibra de metálica recta	
Límite elástico	2400 N/mm ² 1400 N/mm ² 1100 N/mm ²
Punto de fusión	1500°C
Longitud	6-30mm +/- 1,0mm
Diámetro	0,15 mm +/- 0,025 mm
Diámetro	0,40 mm 0,60 mm +/- 0,2 mm
Sección	Circular

Fuente: w.w.w.maccaferri.com.br/es/productos/fibras/fibromac

2.15.4. Ventajas del uso de fibras metálicas

Ahorros de material, debido a la reducción del espesor de losas.

Disminución de los tiempos de obra, en relación al armado con armadura tradicional.

Mayor control de la fisuración ya que cosen las fisuras del hormigón formando un “puente” entre los agregados gruesos, llevando al hormigón a un comportamiento dúctil luego de la fisuración inicial evitando así la fractura frágil.

Incremento de la resistencia a la abrasión y protección final debido a una reducción de la fisuración.

Excelente resistencia a la corrosión, ya que mediante el uso de las fibras las fisuras controladas tienen un diámetro mucho menor al necesario para permitir que el proceso

de corrosión se inicie en el acero del hormigón.

Excelente resistencia al impacto (mejora la resiliencia).

Mejora la resistencia a tracción, compresión, flexión y corte.

Control eficaz de la retracción del hormigón.

Ductilidad.

Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.

Permite reducir el número de juntas de retracción.

2.15.5. Desventajas del uso de fibras metálicas

Existen limitaciones relacionadas con el tamaño máximo de árido, cuando el hormigón va a ser bombeado, la longitud de la fibra no debe superar $2/3$ del diámetro interior del tubo.

Otro factor limitante de la longitud de las fibras es la separación entre las barras de armado cuando estas están presentes (En estos casos la longitud de las fibras no debe superar la separación mínima entre barras a no ser que se demuestre con ensayos previos que no presenta inconvenientes).

Las fibras metálicas no brindan incrementos significativos de la resistencia a la abrasión.

En dosificaciones típicas de 20 a 40 kg/m³ disminuyen el revenimiento de 0,25 a 1 cm. aproximadamente y obviamente, debe esperarse más disminución de revenimiento cuando se utilizan dosificaciones mayores.

La trabajabilidad es el factor que limita la longitud y aspecto de radio de las fibras. De nada sirve una fibra metálica que nos ofrece resultados formidables en laboratorio, y en cuanto la llevamos a la obra nos resulta prácticamente imposible de incorporar, mezclar y terminar el concreto.

2.16. REFUERZO DEL CONCRETO CON FIBRAS

Las fibras de refuerzo para hormigones o morteros son un producto que refuerza las mezclas, lo que reduce la formación de fisuras y grietas y disminuyen la permeabilidad las fibras de refuerzo pueden tener diversas composiciones. Tienen un aditivo que las protege del desgaste de los rayos UV y también los protege contra los álcalis y ácidos del cemento. Las fibras de refuerzo se suministran en bolsas hidrosolubles para facilitar su utilización.

Las fibras para hormigón y mortero se utilizan en multitud de soluciones: hormigones y morteros de alta resistencia al impacto, estructuras prefabricadas, construcción y reparación de pavimentos industriales, gunitados o proyectados mediante vía húmeda en estructuras enterradas y túneles, pavimentos, aparcamientos, soleras de hormigón, etc.

Figura 2.39. Diferentes tipos de fibras para reforzar el hormigón



Fuente: Elaboración propia

Según la información obtenida del “Manual Interno de Maccaferri”: Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón, se define como:

“Fibras: Las fibras son filamentos discontinuos, producidos con una variada gama de formas, dimensiones y destinados específicamente para uso en concreto y argamasas. Tiene como finalidad principal inhibir el surgimiento de fisuras, así como su propagación en elementos estructurales como pisos y pavimentos, concreto proyectado, revestimiento de túneles y piezas pre-fabricadas.” (Maccaferri 2007:3)

Según el ACI, el concreto fibroreforzado es una mezcla constituida a partir de cemento hidráulico, contenido de agregados petreos, y también filamentos o fibras discretas.

Estructuralmente proporcionan una mayor energía de rotura, sustituyendo parcial o completamente los sistemas convencionales de armaduras de acero. Por otro parte, del lado no estructural, las fibras proporcionan un notable incremento en la resistencia al fisuramiento, así como el incremento de otras propiedades:

“Las fibras son empleadas en aplicaciones estructurales en busca de beneficios adicionales en cuanto a reducción de mano de obra, incremento de la durabilidad y reducción o eliminación del refuerzo tradicional. El concreto soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez que se haya producido la micro-fisura, controlan la figuración y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad” (Colegio de Ingenieros del Perú 2012: 4)

2.16.1. Características de las fibras en el concreto endurecido

Las fibras también mejoran el desempeño del concreto endurecido, aumentando su resistencia en los siguientes casos:

Al desgaste. - Ya que a través del control de exudación se evita el aumento en la relación agua/cemento responsable por la disminución de la resistencia del concreto.

Al impacto. - Debido a que controlan el inicio y profundidad de las fisuras, ayudando a preservar la integridad de la estructura.

Al fuego. - Con la fundición de las fibras a altas temperaturas, son creados micro-canales que alivian la presión generada por los vapores de agua causantes del fenómeno de “spalling” (término que se le da al fenómeno de desprendimiento que puede ocurrir a las superficies de las capas de miembros de concreto cuando son expuestas al fuego), aumentando el tiempo de degradación de las estructuras en casos de incendios.

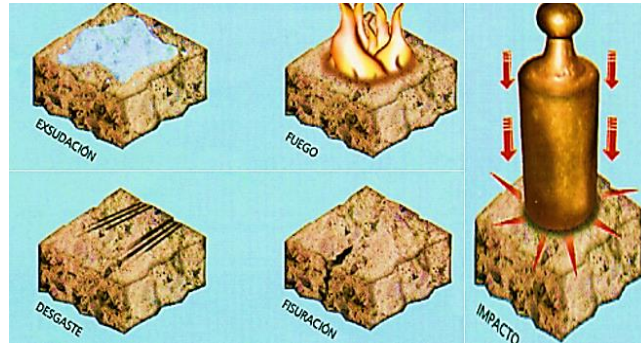
Reducen las fisuras causadas por la retracción y asentamiento plástico. Una de las principales características del hormigón con fibras, es su alta capacidad a evitar la formación de fisuras y grietas, y a la propagación de las mismas.

Permiten controlar la exudación y segregación.

La explicación de esta capacidad reside en que el compuesto fibra-hormigón posee una

elevada resistencia a la tracción, aportada por las fibras (aunque no en relación lineal con la resistencia del conjunto), además posibilidades de elongación plástica ante las tensiones potencialmente generadoras de fisuras.

Figura 2. 40. Resistencia de las fibras a diferentes situaciones desfavorables



Fuente: www.maccaferri.com/br/es/productos/fibras/fibromac

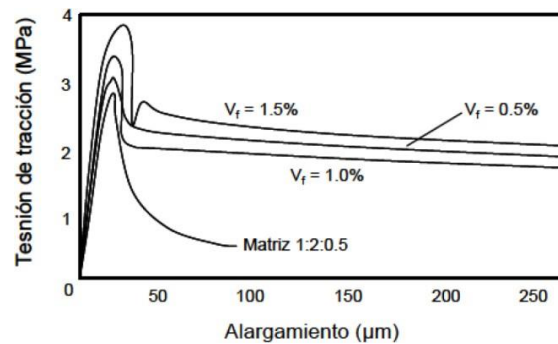
2.16.2. Características mecánicas de las fibras en el hormigón endurecido

Entre las características mecánicas tenemos:

2.16.2.1. Resistencia a tracción

Resistencia atracción La adición de fibras en el HRF (hormigón reforzado con fibras) mejora sensiblemente el comportamiento pre-fisura del hormigón a tracción directa respecto a un hormigón tradicional. Asimismo, el efecto más importante en el comportamiento mecánico del hormigón tras el empleo de fibras en el hormigón, es el importante incremento de su resistencia residual a tracción post-fisura, debido al efecto cosido de las mismas entre las caras de las fisuras producidas.

Figura 2.41. Curvas tensión de tracción-alargamiento de morteros en función del volumen de fibras “vf” a tracción directa



Fuente: Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero vs. pav tradicionales. Ing. Marco Montalvo

Así mismo, la resistencia a tracción post fisura afecta a otras propiedades mecánicas como la adherencia de armaduras, la resistencia a cortante, la fatiga, etc. (Massicote, 2000).

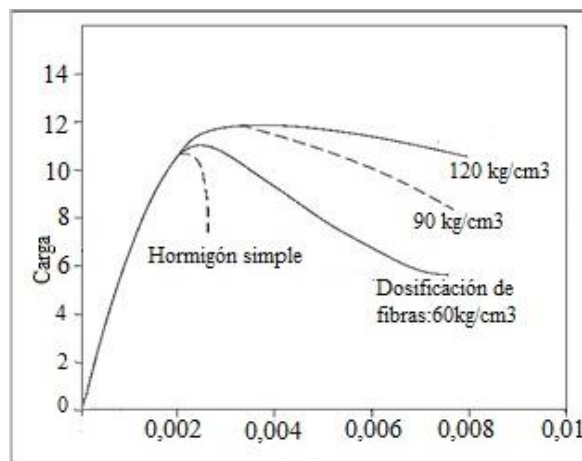
Una adición de fibras del 1,5% del volumen en hormigones o morteros puede suponer incrementos a tracción directa entre el 30 y el 40% (ACI 544. 1R-96, 2009).

2.16.2.2. Resistencia a compresión

La adición de fibras sintéticas no mejora de forma significativa la resistencia a compresión del hormigón. Se pueden dar incrementos poco significativos con porcentajes de fibras elevados (mayores al 1,5% del volumen de hormigón). No obstante, la adición de fibras sí mejora la ductilidad del hormigón.

Por otra parte, el módulo elástico y el coeficiente de Poisson no se ven alterados de manera importante para porcentajes de fibras inferiores al 2% del volumen del hormigón (Maccaferri, 2005).

Figura 2.42. Ejemplo de gráfica carga-deformación para hormigones con diferentes cuantías de refuerzo con fibras



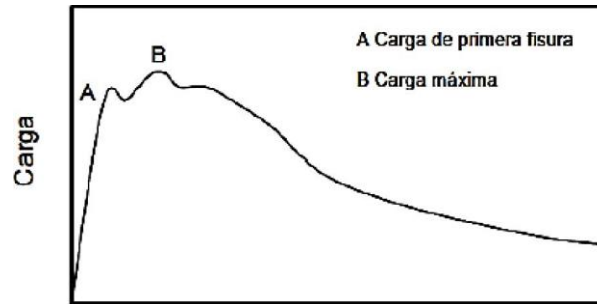
Fuente: Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales. Ing. Marco Eduardo Montalvo

2.16.2.3. Resistencia a flexo-tracción

La adición de fibras en el hormigón incrementa la resistencia a flexo-tracción del hormigón de una manera más importante que a compresión o a tracción simple.

Éste hecho se debe al comportamiento dúctil que obtiene el hormigón con la adición de fibras en las zonas fisuradas. Esto supone la aparición de resistencias residuales provocadas por las fibras aún después de la aparición de la primera fisura. (Hannant, 1978) (Figura 2.43).

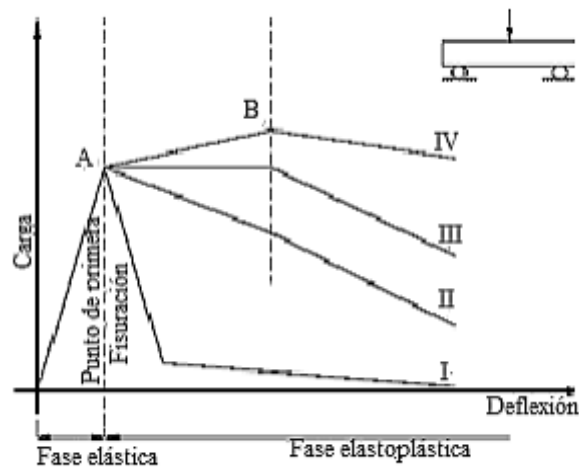
Figura 2.43. Curva carga-flecha a flexo-tracción para un HRFA



Fuente: Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales. Ing. Marco Eduardo Montalvo

El incremento de la resistencia a primera fisura del hormigón por adición de fibras no es significativo, ya que esta propiedad depende básicamente de la matriz de hormigón, no del contenido, tamaño y forma de las fibras. Para mejorar la resistencia a primera fisura es más rentable utilizar, por tanto, aditivos o humo de sílice, por ejemplo. (ACHE, 2000).

Figura 2.44. Comportamiento a flexión del hormigón con fibras



Fuente: Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales. Ing. Marco Eduardo Montalvo

En la figura 2.44 se puede observar cómo el hormigón se comporta de forma plástica e independientemente del tipo y la cantidad de fibras hasta la primera fisuración (punto A).

A partir de entonces empiezan a trabajar las fibras, las cuales influirán de forma distinta según la cantidad y el tipo adicionado. La curva I representa el comportamiento de un hormigón sin refuerzo, una vez alcanza la carga de rotura se colapsa, típico de un material de comportamiento frágil. La curva II empieza a mostrar capacidad de absorber esfuerzos tras la aparición de la primera fisura, obteniéndose un comportamiento más plástico. La curva III presenta un comportamiento mucho más plástico bajo carga constante, retrasando incluso el punto de colapso. Por último, la curva IV presenta incluso un aumento de la capacidad de carga justo después de la aparición de la primera fisura.

La resistencia a rotura del HRF depende sobre todo del volumen y la esbeltez de las fibras. Se pueden lograr incrementos de hasta el 100% respecto de la resistencia de la matriz si se emplean fibras de extremos conformados (Giménez, 1987). No obstante, contenidos de fibras bajos y con baja esbeltez, no consiguen incrementos significativos de resistencia a flexo-tracción. (Hannant, 1978).

2.16.2.4. Resistencia a cargas dinámicas (impacto)

La resistencia a impacto de los HRF es muy superior a la de los hormigones convencionales en masa. El hecho de llevar fibras, hace que la matriz de hormigón tenga una tendencia mucho menor a la desfragmentación y al arrancamiento. Asimismo, se produce un importante incremento de la capacidad de absorción de energía por impacto. Los HRF pueden, por tanto, aumentar la resistencia a cargas dinámicas de 3 a 10 veces en comparación a los hormigones en masa. (ACI 544.4R88, 2009).

2.16.2.5. Módulo de deformación

Módulo de deformación tienen entre 3000 y 10000 Mpa. Esto supone que las fibras sintéticas se deforman más que las de acero y por tanto, alcanzan la rotura más fácilmente. Asimismo, a tracción, las fibras de acero soportan 500-2000 Mpa, mientras que las de polipropileno 200-600 Mpa.

2.16.2.6. Deformación

No obstante, las fibras de polipropileno son mucho más livianas que las de acero, ya que su densidad es de 910 kg/m³ y las de acero tienen una densidad de 7850 kg/m³.

2.16.2.7. Tenacidad

La tenacidad es la energía de deformación total que puede absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura. Se debe principalmente al grado de cohesión entre las partículas. Normalmente se cuantifica como el área bajo la curva carga-flecha obtenida de forma experimental. Suele emplearse el ensayo de flexo-tracción para evaluar esta propiedad, ya que es mucho más simple de realizar que el de tracción directa y permite simular condiciones de carga para muchas aplicaciones.

La curva carga-flecha depende principalmente de la geometría del elemento (sus dimensiones), de los puntos de carga, de la velocidad de carga y del criterio de control del ensayo (apertura de fisura, carga, flecha, etc.).

En los métodos de ensayo más utilizados se evalúa la tenacidad mediante una flecha máxima establecida con unos índices de tenacidad “It” que depende de múltiplos de la flecha a primera fisura. Este valor depende del contenido de fibras, del tipo y la esbeltez de estas. La matriz no influye prácticamente nada, ya que los índices reflejan el incremento de la tenacidad debido a las fibras. (ACI 544.4R-88).

2.16.2.8. Cortante y torsión

La resistencia a torsión y cortante de los hormigones aumenta ligeramente con la adición de fibras. Éstas hacen que se produzca una fisuración más distribuida, además de incrementar la capacidad de carga última a cortante, como se ha demostrado en ensayos experimentales de vigas de HRFA (Barragán, 2002).

2.16.2.9. Punzonamiento

Ensayos experimentales demostraron que se producen roturas por punzonamiento más graduales y dúctiles, con una fisuración previa a la rotura mucho mayor y un aumento de la resistencia después de la fisuración al emplear volúmenes de fibras mayores al 0,5%. Este efecto depende del contenido de fibras, su capacidad adherente y su esbeltez. Se han obtenido incrementos de resistencia a la rotura por punzonamiento de hasta el 42% con el empleo de fibras en el hormigón. (ACI 544.4R-88, 2009).

2.16.2.10. Adherencia fibras-matriz

Tras la fisuración, el comportamiento del HRF depende directamente de la adherencia entre las fibras y la matriz de hormigón, ya que éstas se encargan de coser las fisuras y retrasar el agotamiento del material compuesto, convirtiéndolo en un material dúctil. Para elevar la absorción de energía se deben producir el arrancamiento de las fibras (pull-out), y no la rotura de éstas.

La esbeltez de las fibras es un parámetro clave para el incremento de la adherencia. Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en un ensayo en el que se demostró que tres fibras de esbeltez 100, obtuvieron una resistencia al arrancamiento un 50% mayor a la obtenida por una única fibra de esbeltez 75 y de volumen equivalente a las tres anteriores (Giaccio, Giovambattista, & Zerbino, 1986).

En otro ensayo se demostró que cuanto menor sea la rectitud de las fibras, mayor será su adherencia. En este caso se ensayaron tres tipos de fibras del mismo material y área, una circular recta, otra circular con extremos conformados y otra triangular retorcida. La fibra triangular obtuvo resistencias de adherencia 400% mayores que la circular recta y 200% mayores que la circular con extremos conformados. Asimismo, la energía de arrancamiento de la fibra triangular fue 2,5 veces mayor que la circular de extremos conformados (Naaman, 2000).

Ya es habitual ejecutar con este material obras de soleras y pavimentaciones industriales, hormigones proyectados para el sostenimiento de túneles, taludes y ejecución de piscinas, hormigones prefabricados, etc. Artículo de Enrique Pina, Director Técnico/Comercial, y Gabriel Sémelas, Gerente, de MyPHor, gracias a los esfuerzos en investigación de materiales sintéticos apropiados para el refuerzo de hormigón, se han desarrollado en otros países nuevas fibras sintéticas con capacidad de armar estructuralmente el hormigón, permitiendo eliminar mallazos metálicos y disminuir/eliminar armaduras en determinadas condiciones, obteniéndose resistencias residuales a flexo tracción semejantes, aportando asimismo otras ventajas adicionales desde el punto de vista del control de fisuración por retracción plástica, protección pasiva contra el fuego y durabilidad.

En España, no había hasta ahora un desarrollo propio de este tipo de materiales. Tras más de dos años de investigación en el campo de fibras sintéticas estructurales para hormigones y morteros, la empresa Myphor Materiales Especiales, ha lanzado al mercado la primera fibra sintética con capacidad estructural desarrollada y fabricada íntegramente en España (MPH Fiber Plus), contribuyendo tecnológicamente en este nuevo avance en el mundo de la construcción.

Si bien, con este artículo se pretende dar una visión global de las ventajas y aplicaciones de los hormigones reforzados con fibras sintéticas estructurales, la intención es desarrollar en próximos artículos el análisis concreto por aplicaciones, así como los métodos de ensayo y fórmulas de cálculo, con el objetivo de contribuir a estandarizar su empleo.

2.17. DETALLE CONSTRUCTIVO DEL PAVIMENTO CON FIBRAS

Como primer paso tenemos la dosificación del material y las fibras sintéticas o metálicas, la dosificación de las mismas está en función de la cantidad de metros cúbicos de hormigón, cada envase de fibra está calculada para 1 m^3 de hormigón según el fabricante, la presentación de las bolsas de fibras sintéticas es de 600 gr/m^3 y de fibras metálicas son cajas de 15 kg/ m^3 a 20 kg/ m^3 .

Figura 2.45. Fibras sintéticas y metálicas en sus envases



Fuente: Elaboración propia

Para introducir las fibras se puede realizar de dos maneras, una es de forma directa de los envases y otra manera es vaciar primero en un recipiente para separar un poco las fibras y evitar grumos en la mezcla.

Figura 2.46. Vaciado de las fibras al mixer



Fuente: Elaboración propia

Las fibras corren libremente hacia el fondo, el mixer deberá estar rotando a velocidad media durante este proceso. Esto se hace de manera directa del envase o recipiente a la mezcladora.

Figura 2.47. Fibras metálicas vaciadas por el tubo del mixer



Fuente: Elaboración propia

Luego de colocadas las fibras, se debe dejar por máximo 2 minutos en el mixer rotando a alta velocidad y proceder a realizar el ensayo del Cono de Abrams, para verificar si la consistencia corresponde para el tipo de obra.

Figura 2.48. Personal de la obra realizando el ensayo del cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Se debe verificar que el aspecto de la mezcla sea totalmente uniforme sin bolitas o grumos de fibras.

Figura 2.49. Mezcla de hormigón fresco con fibras



Fuente: Elaboración propia

El vaciado de la mezcla del mixer se realiza directamente hasta el lugar donde se lo requiera, en una construcción cualquiera y con los cuidados normales.

Figura 2.50. Personal realizando el vaciado de la mezcla en



Fuente: Elaboración propia

Vaciado de la mezcla sobre subbase preparada, nótese que no hay interferencia alguna con el personal que se encuentra esparciendo el concreto, a diferencia de utilizar una malla de acero.

Figura 2.51. Obreros esparciendo el hormigón puesto en obra



Fuente: Elaboración propia

Se debe realizar las labores de vaciado, vibrado y curado, en varios tramos del pavimento.

Figura 2.52. Obrero realizando el respectivo vibrado



Fuente: Elaboración propia

Así mismo se deben realizar las labores de nivelación de la losa.

Figura 2.53. Nivelación de losa con maquinaria



Fuente: Elaboración propia

Para realizar el detalle de las juntas se usa una sierra especial para este tipo de trabajos.

Figura 2.54. Trabajador con máquina para cortar el pavimento



Fuente: Elaboración propia

El acabado final debe ser impecable sin afloramiento de fibras en la superficie.

Figura 2.55. Maquinaria para realizar el pulido del pavimento



Fuente: Elaboración propia

2.18. APLICACIÓN DE PAVIMENTOS ULTRADELGADO CON FIBRAS

2.18.1. Aplicación del método en Chile

TCPavements presenta: Ultra Thin Concrete Pavements, losas optimizadas para caminos de bajo tránsito

Buscando estar a la vanguardia en tecnologías industriales, desde 2006, que TCPavements viene desarrollando, comercializando y patentando pavimentos de

hormigón de losas con geometría optimizada (TCP) para diferentes mercados mundiales. Hoy, ya consolidada en el mercado internacional, con agentes en Estados Unidos, Perú, Colombia y Australia, la compañía sigue incorporando innovación a sus productos, optimizando el uso de caminos y carreteras. En este marco presenta Ultra Thin Concrete Pavements (U-TCP), una variación del sistema tradicional de TCP, diseñado para caminos o calles de bajo tránsito, con un estándar menor a calles y carretera.

La principal ventaja de este nuevo producto, es que compite directamente en costo con soluciones asfálticas para el mismo estándar. En licitaciones de proyectos hemos visto esta competencia y la experiencia que hemos tenido con estos contratos ha sido muy positiva. "En todos los casos han superado las expectativas de durabilidad, incluso antes de alguna intervención en los caminos", cuenta el ejecutivo.

TCPavements trabaja con esta tecnología desde 2010, año en que se comenzaron a realizar las primeras pruebas para calibrar los modelos con el software OptiPave. "El primer modelo se construyó en 2012 y ninguno de esos ha tenido mantención todavía", explica Covarrubias. Hasta la fecha, la compañía ha trabajado en más de 10 proyectos incorporando esta tecnología, siendo los principales la entrada al colegio Craighouse en lo Barnechea, y el camino a Bahía Murta. El uso de UTCP está autorizado para caminos de tránsito básico e intermedio. "Esto ha fomentado la capacitación de algunos profesionales regionales del Ministerio de obras Públicas (MOP) para evaluar la opción de realizar pavimentaciones con equipos propios", agrega el especialista.

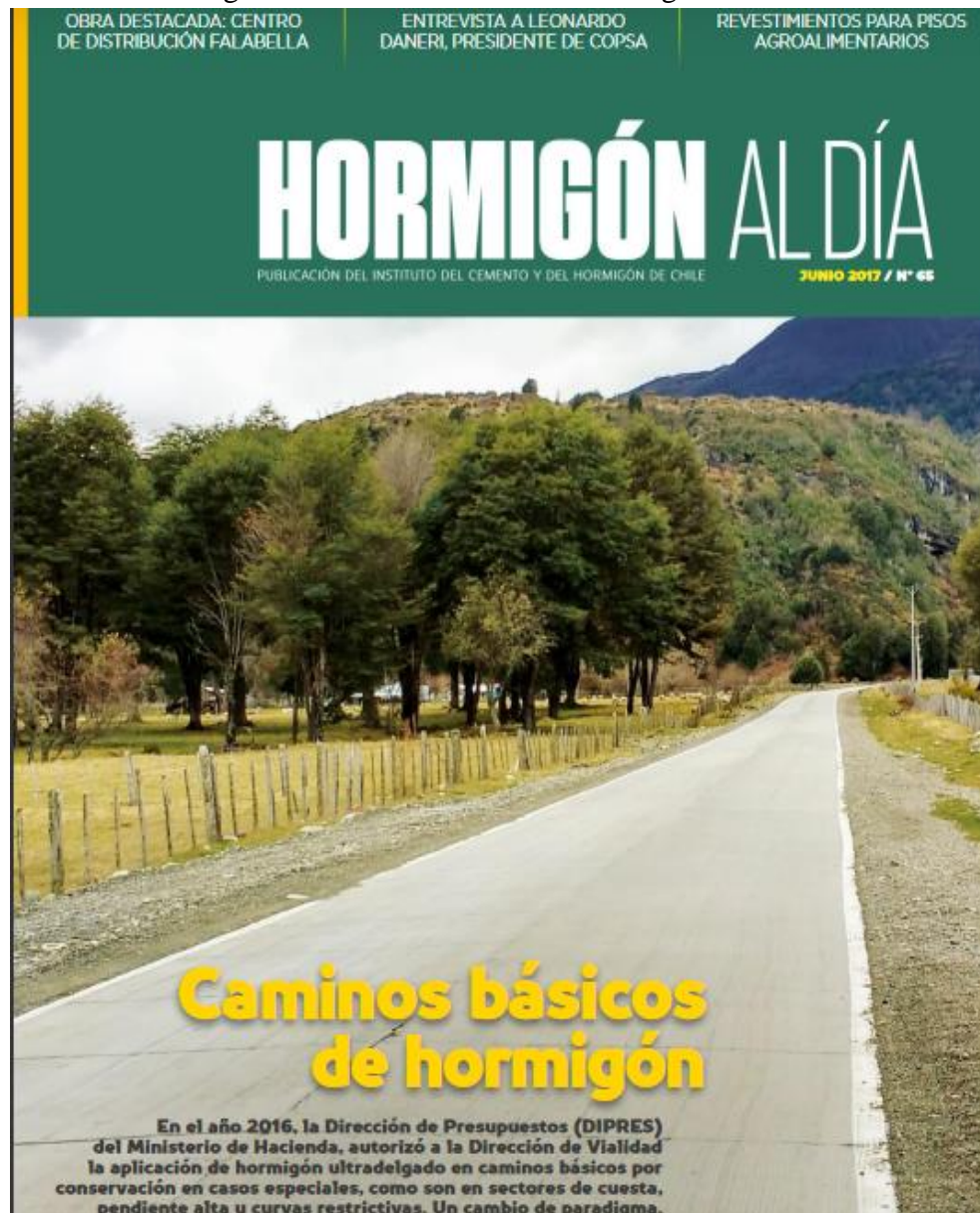
En el año 2016, la Dirección de Presupuestos (DIPRES) del Ministerio de Hacienda, autorizó a la Dirección de Vialidad la aplicación de hormigón ultradelgado en caminos básicos por conservación en casos especiales, como son en sectores de cuesta, pendiente alta y curvas restrictivas.

“Actualmente se lleva a cabo el Programa Pavimentos Básicos 15000 entre 2014 y 2018 (este incluye además unos 3000 km de caminos en comunidades indígenas). En resumen, a diciembre de 2016 se cuenta con más de 14000 km básicos en todo el país” detalla

Walter Brüning director nacional de vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

En la actualidad hay más avances, a partir de 2011 se estableció una normativa para los caminos básicos, en conjunto con la Dirección de Presupuestos (DIPRES) del Ministerio de Hacienda y con el Ministerio de Desarrollo Social (todas las evaluaciones sociales de los proyectos de inversión pública deben ser revisadas por este ministerio para obtener su recomendación).

Figura 2.56. Revista chilena “Hormigón al día”



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón de Chile

Conservación camino Mahuidache Misión Inglesa, sector km 0000 - km. 7970, Comuna de Freire, provincia de Cautín, región de la Araucanía, (Año 2012).

El primer proyecto de su tipo, este pavimento es un UTCP de 9 cm de espesor, el cual por definición se colocó directo sobre el camino de tierra existente, es decir sin la necesidad de una base granular.

Figura 2.57. Camino Mahuidache Misión Inglesa (Chile)



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón de Chile

Reposición ruta G-78, sector El Monte - El Paico - Melipilla, región Metropolitana. (Año 2012)

Se construyó un pavimento de Hormigón ultradelgado con fibra sintética, de espesor 12 cm, que abarca una longitud de 600 m entre el Dm 21940 hasta el Dm 22540.

Ruta G84 Quilamuta - La Manga, región de Valparaíso (año 2013)

Último tramo de prueba de 500 m UTCP con fibra y espesor de 10 cm sobre granular existente que se perfiló y compactó previamente. Esta experiencia está dentro de un contrato de DTS que se construyó en el mismo periodo y a un costo bastante similar; comparando las dos soluciones se observa un pavimento de hormigón con una proyección que debiera superar la vida útil del tratamiento superficial.

Figura 2.58. Ruta Quilamuta - La Manga (Chile)



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón de Chile

Mejoramiento camino ruta X-730, sector cruce ruta 7 Bahía Murta km 0 al 4426

Hormigón H35 Pavimento ultradelgado con fibra, de espesor 8 cm.

Figura 2.59. Cruce Ruta 7 Bahía Murta



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón de Chile

CAPÍTULO III

PROYECTO DE APLICACIÓN SOBRE EL USO DE PAVIMENTOS ULTRADELGADOS DE CONCRETO CON FIBRAS

3.1. UBICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

El tramo en estudio comienza en la comunidad Viscacheral y se encuentra ubicado en las afueras de la ciudad de Villa Montes a 25,50 km de esta ciudad, atraviesa la comunidad Weenhayek y comprende también una vía de comunicación para puestos ganaderos.

Desde su posición geográfica al norte de esta vía se halla el departamento de Chuquisaca, al sur el municipio Yacuiba y la República Argentina, al este la República del Paraguay y al oeste la provincia O'Connor.

Figura 3.1. Camino a Viscacheral



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2. Camino a Viscacheral



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3. Vista satelital de la ubicación de Viscacheral



Fuente: Google Earth

3.2. RESUMEN CLIMATOLÓGICO

En esta parte se hará una descripción del clima de las ciudades Villa Montes y Yacuiba por ser las más cercanas a esta vía.

En Villa Montes la temperatura promedio es de 23°C. Los promedios de temperatura pueden variar según las temporadas. En invierno pueden descender hasta -5°C y -7°C en las noches, causados por el ingreso de “surazos”, vientos fríos y húmedos. En verano las temperaturas pueden ascender hasta los 49°C.

En Yacuiba el clima es semitropical con veranos cálidos e inviernos tibios. En el verano las lluvias son muy comunes en cambio en invierno apenas llueve. La temperatura media es de 21°C. El clima de Yacuiba es del tipo clima subtropical húmedo con invierno seco.

3.3. ESTUDIO DE SUELOS DE LA SUBRASANTE

Un estudio de suelo es el que nos permite conocer las características físicas y geológicas del suelo, desde la secuencia litológica, las diferentes capas y su espesor, la profundidad del nivel del agua subterránea, hasta la capacidad de resistencia de un suelo o una roca.

La metodología seguida para la ejecución del estudio de suelos, comprende básicamente una investigación de campo a lo largo de la vial definido por el eje de la carretera del proyecto. Mediante la ejecución de prospecciones de exploración (calicatas) se pueden observar las características del terreno de fundación, para luego obtener muestras representativas y en cantidades suficientes para ser sometidas a ensayos de laboratorio. Finalmente, con los datos obtenidos en ambas fases se realizan las labores de gabinete, para consignar luego en forma gráfica y escrita los resultados del estudio.

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

Estas pruebas de laboratorio se realizan para conocer las características de los materiales, estas pueden ser de clasificación, de control y de proyecto. Con las pruebas de clasificación se decide si los materiales se pueden utilizar en las capas estructurales.

3.3.1. Granulometría del suelo

Ciencia que estudia la forma y el tamaño de los fragmentos detríticos de las rocas sedimentarias y los sedimentos.

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforma un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

Si bien se realiza una distribución de tamaños, esto no incide en la forma que puedan tener los granos de suelo, ya que al retener material en una malla se observa diferentes tamaños y el porcentaje que se calcula está basado estrictamente en los pesos que se retiene en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

Figura 3.4. Suelo subrasante y juego de tamices para usar en la práctica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Tamizado manual del suelo



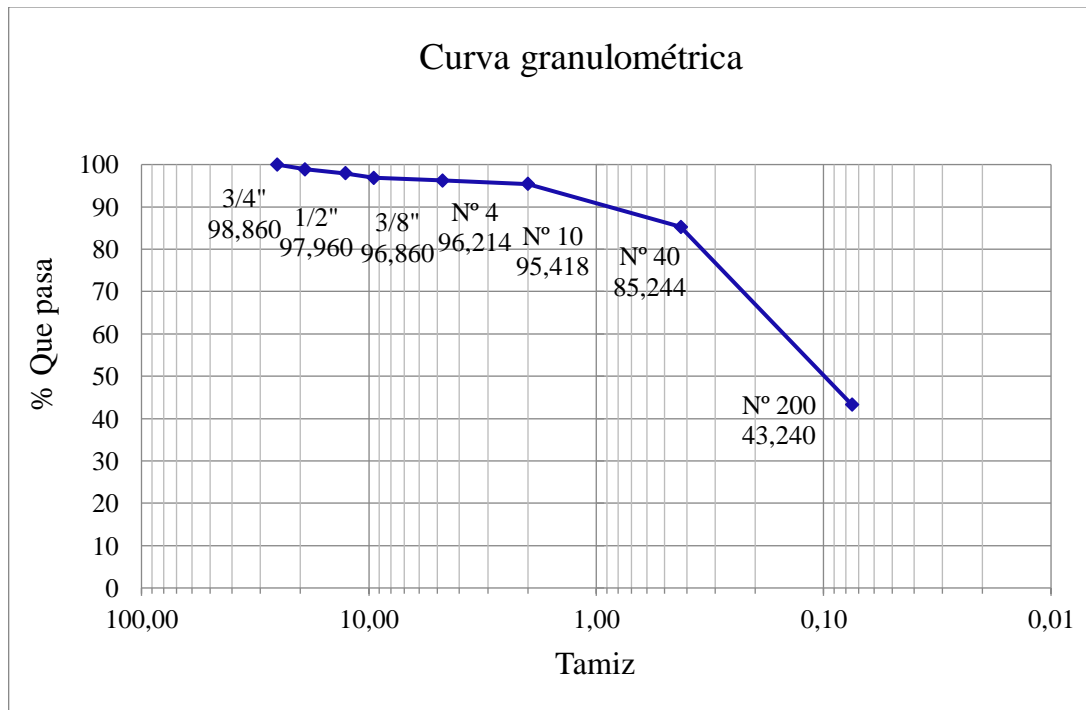
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1. Granulometría del suelo

Peso total (gr)					500,00
Tamiz	Abertura	Peso retenido	Peso ret. acumulado		% que pasa del total
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	
1"	25,40	0,00	0,000	0,000	100,000
3/4"	19,10	5,70	5,700	1,140	98,860
1/2"	12,70	4,50	10,200	2,040	97,960
3/8"	9,52	5,50	15,700	3,140	96,860
N° 4	4,75	3,23	18,930	3,786	96,214
N° 10	2,00	3,98	22,910	4,582	95,418
N° 40	0,43	50,87	73,780	14,756	85,244
N° 200	0,08	210,02	283,800	56,760	43,240
Base		214,50	498,300	99,660	0,340
Total =		498,30			
Perdidas =		1,70			
Módulo de finura (MF) =		0,86			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6. Curva granulométrica del suelo



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro

Este ensayo se encuentra basado en el principio de sedimentación de granos de suelo en agua, cuando un espécimen de suelos se sedimenta en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas, tamaños y pesos. Por simplicidad, se supone que todas las partículas de los suelos son esferas y que la velocidad de las partículas se expresa por la ley de Stokes, por lo dicho anteriormente se presentan unas restricciones a esta ley que son necesarias tener en cuenta como objeto del estudio que se hace:

Las partículas finas no son esferas.

El suelo no es homogéneo en cuanto a su composición.

La temperatura del fluido no es constante.

Para este tipo de ensayos se tienen en cuenta las siguientes observaciones:

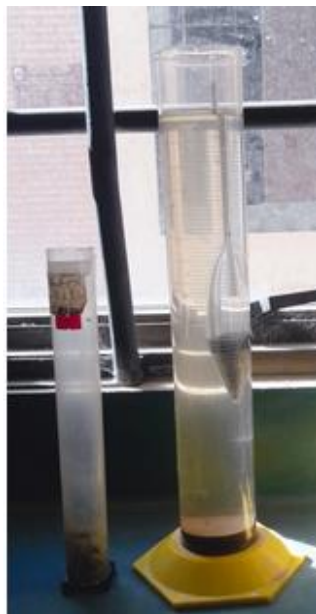
Se debe de trabajar con la cantidad de material fino que pasa tamiz N° 200.

Se utilizará el densímetro.

Se toma una cantidad de 30 a 50 gr, del material que pasa tamiz N° 200.

Se utilizará un defloculante el cual disgregará todos los grumos presentes en la muestra.

Figura 3.7. Hidrómetro



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Análisis granulométrico del suelo por hidrómetro

Hora de Lect.	Tiemp trans. min.	Temp. (°C)	Lect. real R'.	Lectura correg R.	Prof. efec. L	Const. K tabla	L/t	Ct	Lect. correg Rc.	Diam. partícula mm	% más fino
09:50	0	18,0	34,5	35,5	10,70	0,013	0,00	-0,500	35,000	0,0750	42,263
09:51	1	18,0	33,0	34	11,00	0,013	11,000	-0,500	33,500	0,0441	40,451
09:52	2	18,0	32,0	33	11,05	0,013	5,525	-0,500	32,500	0,0313	39,244
09:53	3	18,0	31,0	32	11,30	0,013	3,767	-0,500	31,500	0,0258	38,036
09:54	4	18,0	30,5	31,5	11,40	0,013	2,850	-0,500	31,000	0,0225	37,433
09:56	6	18,0	27,5	28,5	11,90	0,013	1,983	-0,500	28,000	0,0187	33,810
09:58	8	18,0	25,5	26,5	12,20	0,013	1,525	-0,500	26,000	0,0164	31,395
10:00	10	17,0	24,5	25,5	12,42	0,014	1,242	-0,700	24,800	0,0150	29,946
10:02	12	17,0	19,5	20,5	13,30	0,014	1,108	-0,700	19,800	0,0142	23,909
10:04	14	17,0	18,0	19	13,34	0,014	0,953	-0,700	18,300	0,0132	22,097
10:07	17	17,0	17,5	18,5	13,44	0,014	0,791	-0,700	17,800	0,0120	21,494
10:10	20	17,0	15,0	16	13,94	0,014	0,697	-0,700	15,300	0,0113	18,475
10:13	23	17,0	13,5	14,5	14,22	0,014	0,618	-0,700	13,800	0,0106	16,664
10:16	26	17,0	12,5	13,5	14,34	0,014	0,552	-0,700	12,800	0,0100	15,456
10:19	29	17,0	12,0	13	14,44	0,014	0,498	-0,700	12,300	0,0095	14,852
10:23	33	17,0	11,5	12,5	14,54	0,014	0,441	-0,700	11,800	0,0090	14,249
10:27	37	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,396	-0,700	11,300	0,0085	13,645
10:31	41	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,357	-0,700	11,300	0,0081	13,645
10:35	45	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,325	-0,700	11,300	0,0077	13,645
10:39	49	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,299	-0,700	11,300	0,0074	13,645
10:47	57	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,257	-0,700	11,300	0,0068	13,645
10:55	65	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,225	-0,700	11,300	0,0064	13,645
11:03	73	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,201	-0,700	11,300	0,0060	13,645
11:11	81	17,0	11,0	12	14,64	0,014	0,181	-0,700	11,300	0,0057	13,645
11:19	89	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,165	-0,700	10,800	0,0055	13,041
11:34	104	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,142	-0,700	10,800	0,0051	13,041
11:49	119	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,124	-0,700	10,800	0,0047	13,041
12:04	134	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,110	-0,700	10,800	0,0045	13,041
15:04	314	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,047	-0,700	10,800	0,0029	13,041
16:04	374	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,039	-0,700	10,800	0,0027	13,041
09:50	1440	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,010	-0,700	10,800	0,0014	13,041
09:50	2880	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,005	-0,700	10,800	0,0010	13,041
09:50	7200	17,0	10,5	11,5	14,72	0,014	0,002	-0,700	10,800	0,0006	13,041

Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Contenido de humedad

Un suelo en su estado natural tiene la particularidad de poseer partículas de agua, ya sea sobre la superficie de cada partícula o en los mismos poros que ésta pueda presentar. A esto se denomina contenido de humedad de un suelo.

El contenido de humedad de un suelo es la relación entre el peso del agua contenido en la muestra y el peso de la muestra después de ser secada al horno.

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

Donde:

W = Contenido de humedad

W_w = Peso del agua

W_s = Peso de la muestra seca

Figura 3.8. Muestras para el horno



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9. Pesado del material seco



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Cálculo del contenido de humedad

Contenido de humedad del suelo				
Datos y resultados	A	B	C	D
Identificación de cápsula	1	2	3	4
Peso de cápsula P0	16,1	16,2	17,6	15,2
Peso de cápsula + peso suelo húmedo (gr) P1	66,1	66,2	67,6	65,2
Peso de cápsula + peso suelo seco (gr) P2	65,4	65,6	66,9	64,4
Peso de agua $W_w = P1-P2$	0,7	0,6	0,7	0,8
Peso suelo seco (gr) $W_s = P2-P0$	49,3	49,4	49,3	49,2
Contenido de humedad $W(\%) = (W_w/W_s)*100$	1,42	1,21	1,42	1,63

Fuente: Elaboración propia

3.3.4. Peso específico

Primero se debe calibrar el frasco volumétrico de vidrio, ya que es muy importante para la determinación del peso específico de un suelo y que los frascos al ser expuestos al frío o calor sufren cambios en el volumen interior.

El peso específico de los sólidos de un suelo se determina en laboratorio haciendo uso de un frasco con marco de enrase. El peso específico se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s + W_{fsw}}$$

Donde:

γ = Peso específico relativo de un suelo

W_s = Peso del suelo seco

W_{fw} = Peso del frasco lleno de agua

W_{fsw} = Peso del suelo, agua y el frasco

El peso específico relativo de las partículas gruesas según la Norma ASTM D 854-58, se determina un valor adimensional denominado, “peso específico relativo”, definido como

el cociente entre el peso específico del suelo y el peso específico del agua a una temperatura determinada y expresada en la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Los valores típicos de gravedades específicas para los sólidos son entre 2,65 y 2,72.

Figura 3.10. Calibración del frasco volumétrico mediante el baño María



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Peso específico del suelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Pesado del frasco



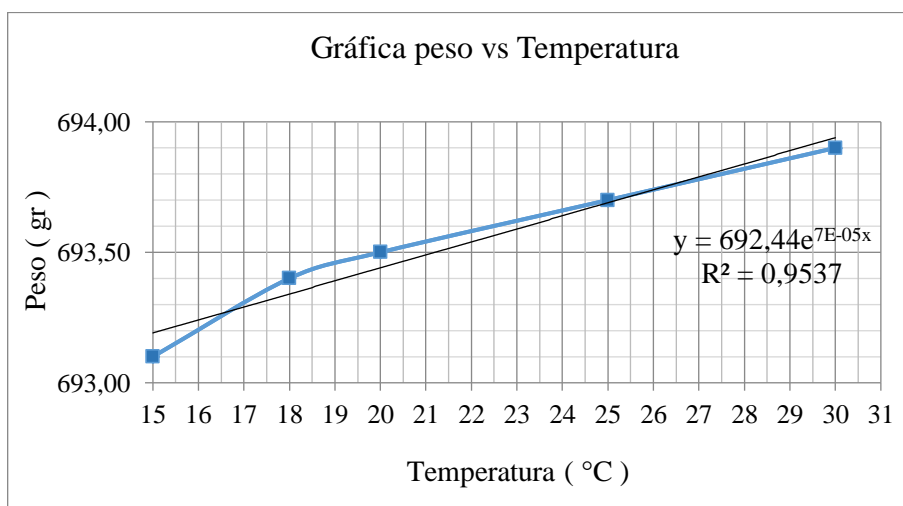
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Cálculo del ensayo del frasco volumétrico

Resultados del ensayo del frasco volumétrico	
Temperatura °C	Pesos gramos
15	693,1
18	693,4
20	693,5
25	693,7
30	693,9

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. Peso vs Temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Cálculo del peso específico del suelo

Peso específico del suelo					
Datos y cálculos	Matraz				
Temperatura ensayada	30,00	25,00	20,00	18,00	15,00
Peso del suelo seco W_s	77,65	77,65	77,65	77,65	77,65
Peso del frasco más agua W_{fw}	693,90	693,70	693,60	693,40	693,10
Peso del frasco + agua + suelo W_{fws}	746,50	746,30	745,50	745,40	744,90
Peso específico	3,10	3,10	3,02	3,03	3,00
Peso específico corregido Factor de corrección $K = 0,99791$	2,48	2,58	2,66	2,68	2,72

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5. Límites de Atterberg

El suelo consta de propiedades mecánicas, estudiadas y descritas por Atterberg, famoso científico. Este propuso cinco límites que puede tener un suelo y de los cuales practicaremos dos el límite líquido y el límite plástico.

Los límites de Atterberg son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos (Unified Soil Classification System, SUCS) cuando se trata de suelos finos e igualmente de suelos con cierto contenido de finos. Constituyen una de las denominadas propiedades índices de estos suelos.

Límite líquido (W_L o LL).-Contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semilíquido y plástico.

Límite plástico (W_P o LP).-Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semisólidos y plástico.

Índice de plasticidad (IP).-Es la diferencia entre los límites líquido y plástico:

$$IP = LL - LP$$

Figura 3.14. Límite líquido con el aparato de Casa Grande



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15. Material obtenido del ensayo a diferentes números de golpes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16. Ensayo del límite plástico



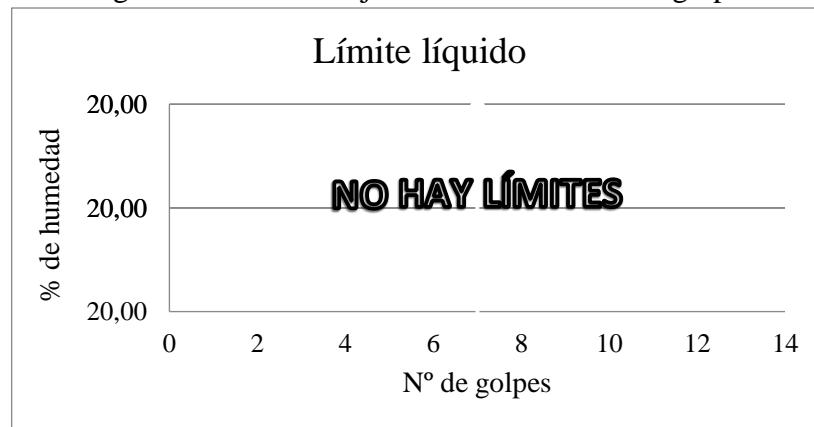
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Cálculo del límite líquido del suelo

Límite líquido del suelo				
Cápsula N°	1	2	3	4
N° de golpes				
Suelo húmedo + cápsula				
Suelo seco + cápsula	NO HAY LÍMITES			
Peso del agua				
Peso de la cápsula				
Peso suelo seco				
Porcentaje de humedad				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.17. Porcentaje de humedad vs N° de golpes



Fuente: Elaboración propia.

No existen límites ya que su estructura no posee las características para realizar este ensayo por contener un porcentaje alto de limo.

Tabla 3.7. Clasificación del suelo según S.U.C.S.

Clasificación S.U.C.S. del suelo en estudio	
Especificaciones de la norma SUCS	Datos del suelo
Más del 50% no pasa el tamiz N° 200	43,24%
Más del 50% pasa el tamiz N° 4	96,21%
Más del 12% pasa el tamiz N° 200	43,24%
IP	IP = 0
Se determinó que tenemos un suelo : SM (Arenas limosas, mezcla de arenas y limos)	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación AASHTO del suelo en estudio	
Especificaciones de la norma AASHTO	Datos del suelo
Más del 35% pasa el tamiz N° 200	43,24%
36% como mínimo pasa el tamiz N° 200	96,21%
Índice plástico 10 máx.	IP = 0
Índice de grupo 8 máx.	IG = 1,65
Se determinó que tenemos un suelo: A4	

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6. Compactación próctor T-180

La compactación de los suelos es el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. Se distingue de la consolidación de los suelos, en este último proceso el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobrecargas impuestas que provocan expulsión de agua por un proceso de defunción; ambos procesos involucran disminución de volumen, por lo que en el fondo son equivalentes. La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de los materiales con los que se trabaje en este caso; con base en un experimento sencillo los materiales puramente friccionantes, como la arena, se compacta eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos el procedimiento de cargas estáticas resulta el más ventajoso.

Figura 3.18. Saturación del suelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19. Compactación con el próctor de suelo saturado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20. Enrasado y toma de muestra del suelo



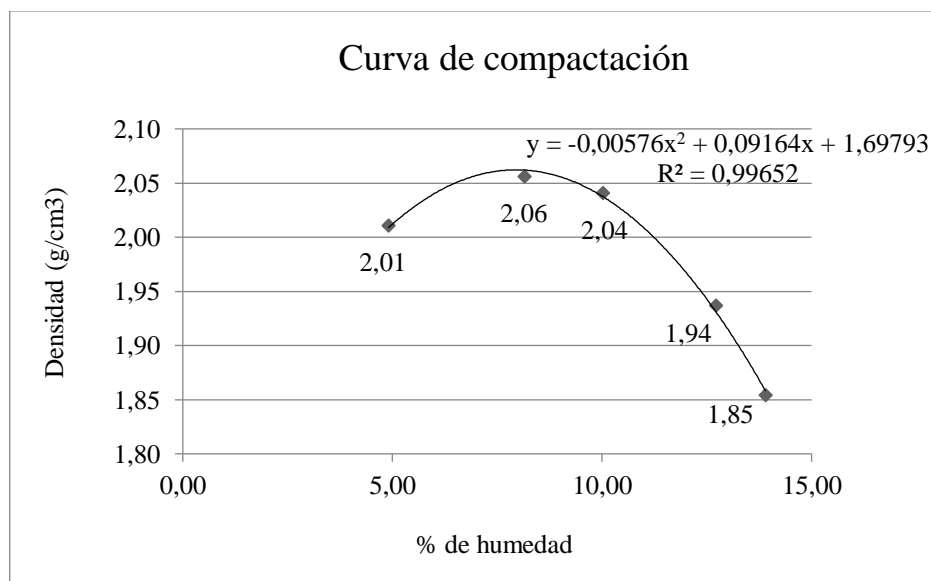
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9. Compactación próctor T-180

Compactación Próctor T-180 del suelo en estudio					
Nº de capas	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Nº de golpes por capa	56,00	56,00	56,00	56,00	56,00
Peso suelo húmedo + molde	10870,00	11110,00	11155,00	11025,00	10875,00
Peso del molde	6443,70	6443,70	6443,70	6443,70	6443,70
Peso suelo húmedo	4426,30	4666,30	4711,30	4581,30	4431,30
Volumen de la muestra	2098,50	2098,50	2098,50	2098,50	2098,50
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	2,11	2,22	2,25	2,18	2,11
Cápsula Nº	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Peso suelo húmedo + cápsula	102,20	77,40	106,30	139,00	136,20
Peso suelo seco + cápsula	98,00	72,50	97,80	125,00	121,40
Peso del agua	4,20	4,90	8,50	14,00	14,80
Peso de la cápsula	12,40	12,40	12,90	14,90	14,90
Peso suelo seco	85,60	60,10	84,90	110,10	106,50
Contenido de humedad (% h)	4,91	8,15	10,01	12,72	13,90
Densidad suelo seco (gr/cm ³)	2,01	2,06	2,04	1,94	1,85
Densidad Máxima	2,06 gr/cm ³				
Humedad Óptima	7,95%				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.21. Curva de compactación



Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Ensayo de relación soporte de California (CBR)

La Relación Soporte de California (CBR) es una medida de resistencia de esfuerzo portante de un suelo bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas.

Este procedimiento puede efectuarse en terreno compactado y mide la carga 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 y luego de haber medido su hinchazón.

Figura 3.22. Saturación del suelo y compactación con martillo T-180



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23. Lectura de expansión del suelo y lectura la carga aplicada sobre área



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Datos y cálculos del ensayo de CBR 1

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
Condición de muestra	Antes de mojarse		D. de m.	Antes de mojarse		D. de m.	Antes de mojarse		D. de m.
Peso muestra húm.+molde	10910		11365	11215		11200	11730		11005
Peso molde	7180		7180	6574		6574	6680		6680
Peso muestra húmeda	3730		4185	4641		4626	5050		4325
Volumen de la muestra	3210		3210	3210		3210	3210		3210
Peso unit. muestra húm.	1,162		1,304	1,446		1,441	1,573		1,347
Muestra de humedad	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	97,30	61,80	65,85	73,40	55,20	57,20	84,50	55,50	76,10
Peso muestra seca + tara	90,50	58,10	61,60	69,40	52,00	54,10	80,10	52,40	73,10
Peso del agua	6,80	3,70	4,25	4,00	3,20	3,10	4,40	3,10	3,00
Peso de tara	10,20	12,70	12,30	12,00	12,40	13,30	12,90	10,20	13,30
Peso de la muestra seca	80,30	45,40	49,30	57,40	39,60	40,80	67,20	42,20	59,80
Contenido humedad %	8,47	8,15	8,62	6,97	8,08	7,60	6,55	7,35	5,02
Promedio cont. humedad	8,31		8,62	7,52		7,60	6,95		5,02
Peso unit. muestra seca	1,07		1,20	1,34		1,34	1,47		1,28

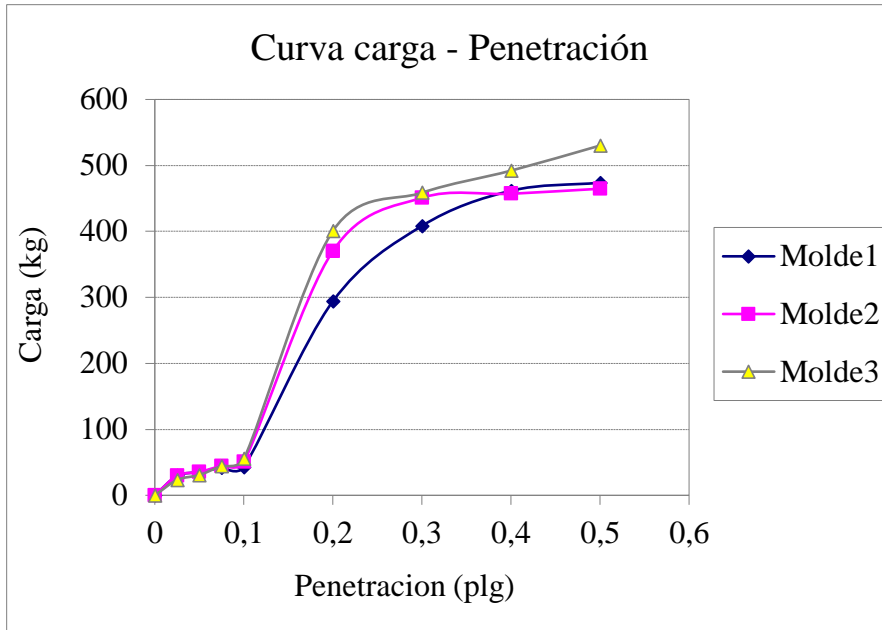
Expansión

Fecha	Hora	Tiempo en días	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
			Lect.	Expansión		Lect.	Expansión		Lect.	Expansión	
			Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%
	10:50	1	24,20	2,420	0,000	24,30	2,430	0,000	23,57	2,357	0,000
	10:30	2	24,93	2,493	0,411	24,34	2,434	0,022	25,56	2,556	1,119
	11:00	3	25,25	2,525	0,591	24,37	2,437	0,039	25,70	2,570	1,198
	8:00	4	26,20	2,620	1,125	24,72	2,472	0,236	26,23	2,623	1,496

Penetración		Carga Normal	Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
			Carga ensayo		C.B.R. corregido		Carga ensayo		C.B.R. corregido		Carga ensayo		C.B.R. corregido	
Plg.	mm	kg	kg	kg/cm ²	kg	%	kg	kg/cm ²	kg	%	kg	kg/cm ²	kg	%
0,000	0,00		0,0	0,0			0,0	0,0			0,0	0,0		
0,025	0,63		29,3	1,5			29,8	1,5			23,2	1,2		
0,050	1,27		35,4	1,8			35,4	1,8			30,8	1,6		
0,075	1,90		41,5	2,1			44,5	2,3			44,5	2,3		
0,100	2,54	1360	43,0	2,2		3,2	50,6	2,6		3,7	55,2	2,9		4,1
0,200	5,08	2040	294,2	15,2		14,4	370,3	19,1		18,2	400,7	20,7		19,6
0,300	7,62		408,4	21,1			451,0	23,3			458,6	23,7		
0,400	10,16		461,6	23,9			457,1	23,6			492,1	25,4		
0,500	12,70		473,8	24,5			464,7	24,0			530,1	27,4		

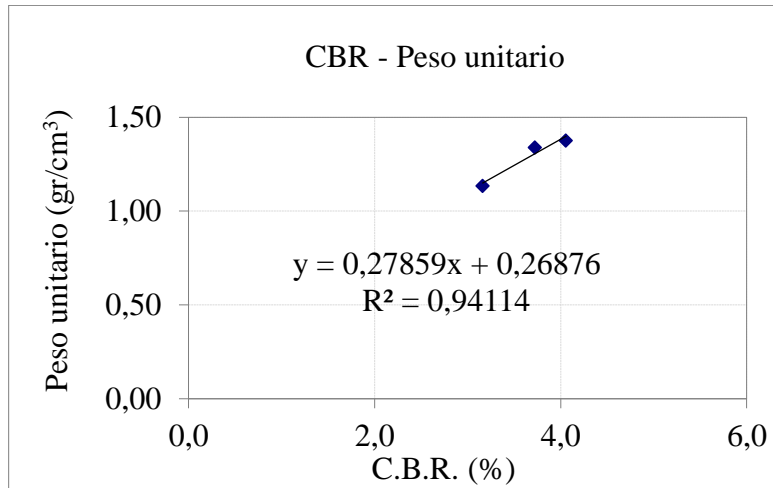
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24. Curva carga vs Penetración



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.25. CBR vs Peso unitario



CBR 100% Densidad máx.
6 %
CBR 95% Densidad máx.
6 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11. Datos y cálculos del ensayo de CBR 2

N° capas	5			5			5		
N° golpes por capa	12			25			56		
Condición de muestra	Antes de mojarse		D. de m	Antes de mojarse		D. de m	Antes de mojarse		D. de m
Peso muestra húm.+molde	12595		12653	12580		12635	12000		12050
Peso molde	7955		7955	8010		8010	7910		7910
Peso muestra húmeda	4640		4698	4570		4625	4090		4140
Volumen de la muestra	3210		3210	3210		3210	3210		3210
Peso unit. muestra húm.	1,162		1,304	1,446		1,441	1,573		1,347
Muestra de humedad	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.
Tara N°	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Peso muestra húm + tara	86,80	75,10	50,90	64,10	51,20	60,40	75,40	47,50	69,10
Peso muestra seca + tara	82,50	69,40	47,20	61,80	48,40	57,70	70,80	46,10	67,30
Peso del agua	4,30	5,70	3,70	2,30	2,80	2,70	4,60	1,40	1,80
Peso de tara	12,30	12,90	10,20	12,00	12,40	13,30	12,70	10,20	13,30
Peso de la muestra seca	70,20	56,50	37,00	49,80	36,00	44,40	58,10	35,90	54,00
Contenido humedad %	6,13	10,09	10,00	4,62	7,78	6,08	7,92	3,90	3,33
Promedio cont. humedad	8,11		10,00	6,20		6,08	5,91		3,33
Peso unit. muestra seca	1,07		1,19	1,36		1,36	1,49		1,30

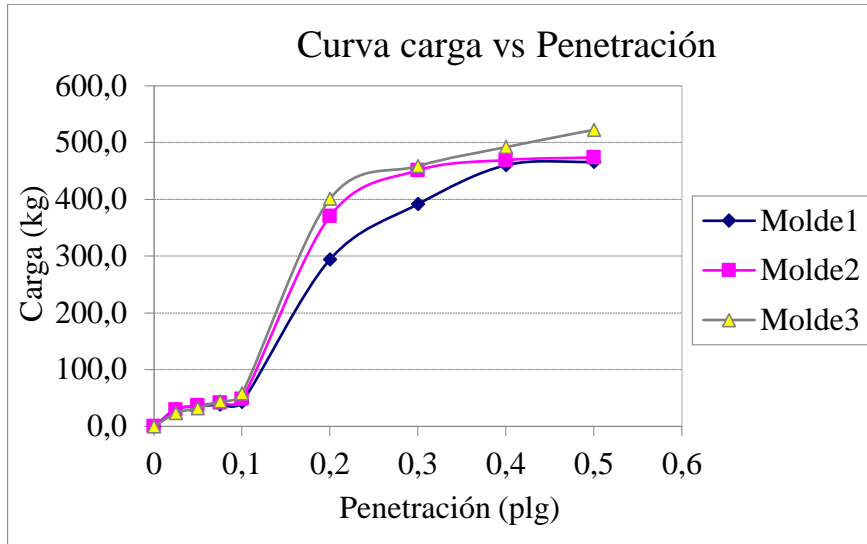
Expansión

Fecha	Hora	Tiempo en días	Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
			Lect.	Expansión		Lect.	Expansión		Lect.	Expansión	
			Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%
	10:50	1	25,25	2,525	0,000	24,23	2,423	0,000	26,23	2,623	0,000
	10:30	2	25,47	2,547	0,123	24,63	2,463	0,225	26,45	2,645	0,1237
	11:00	3	25,50	2,550	0,140	25,59	2,559	0,7649	26,57	2,657	0,1912
	8:00	4	25,65	2,565	0,225	25,72	2,572	0,838	26,57	2,657	0,1912

Penetración		Carga normal	Molde N° 1				Molde N° 2				Molde N° 3			
			Carga ensayo		C.B.R. corregido		Carga ensayo		C.B.R. corregido		Carga ensayo		C.B.R. corregido	
Plg	mm	kg	kg	kg/c m ²	kg	%	kg	kg/c m ²	kg	%	kg	kg/c m ²	kg	%
0	0		0,0	0			0,0	0			0,0	0		
0,025	0,63		30,1	1,6			29,3	1,5			23,2	1,2		
0,05	1,27		35,4	1,8			36,9	1,9			32,4	1,7		
0,075	1,9		38,5	2,0			41,5	2,1			44,5	2,3		
0,1	2,54	1360	43,0	2,2		3,2	47,6	2,5		3,5	58,2	3,0		4,3
0,2	5,08	2040	294,2	15,2		14,4	370,3	19,1		18,2	400,7	20,7		19,6
0,3	7,62		391,6	20,2			451,0	23,3			458,6	23,7		
0,4	10,2		460,1	23,8			469,2	24,2			492,1	25,4		
0,5	12,7		466,2	24,1			473,8	24,5			522,5	27,0		

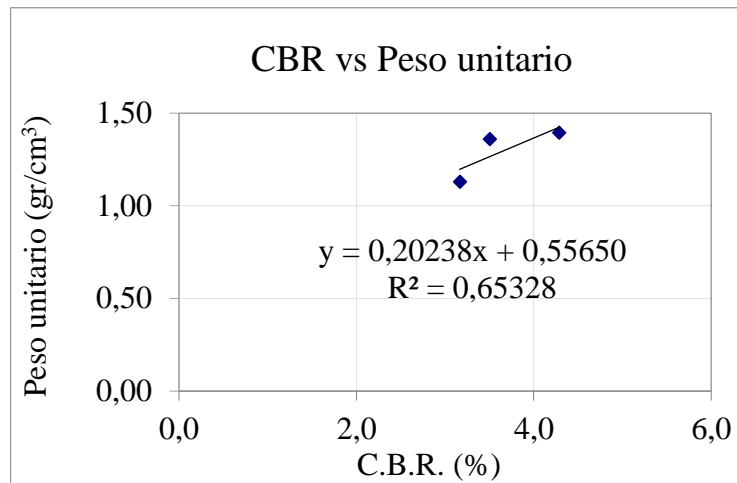
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Curva carga vs Penetración



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.27. Curva CBR vs Peso unitario



CBR 100% Densidad máx.
7 %
CBR 95% Densidad Máx.
7 %

Fuente: Elaboración propia.

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.4.1. Selección del material granular

La selección de los materiales constituyentes es el primer paso necesario para la fabricación de un hormigón. En la tecnología del hormigón normal a esta selección no se le suele prestar una excesiva atención, lo cual es origen de problemas en numerosas ocasiones. Para la fabricación de hormigón de alta resistencia la selección previa de materiales se puede considerar crítica si se desea tener garantías de éxito, ya que se trata de obtener un hormigón de elevada calidad y de elevadas prestaciones.

En el caso del hormigón convencional, existen diversos requisitos que deben cumplir el cemento, el agua y los áridos, que son los elementos básicos de un hormigón normal, así como algunas consideraciones sobre aditivos químicos o ciertas adiciones minerales, hoy en día ampliamente utilizadas.

Todas las exigencias impuestas están encaminadas a la obtención de hormigones con las características deseadas y una durabilidad adecuada.

En el artículo se muestran ensayos realizados para la obtención de hormigones mezclados con fibra sintética, que han permitido establecer una sistemática de selección de materiales constituyentes para estos hormigones: Cementos, áridos y aditivos.

El lugar seleccionado para el ensayo de los materiales fue la chancadora Capirendita de la ciudad de Villa Montes, que se encuentra ubicada en las afueras de la ciudad, en el barrio San Antonio y que realiza su acopio de materiales del río Pilcomayo.

3.4.2. Granulometría de los agregados

La granulometría, es un ensayo de laboratorio que sirve para obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforma una cantidad de material granular.

Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

El objetivo principal de esta práctica es obtener el porcentaje de material que pasa en cada tamiz, para luego graficar una curva granulométrica y así poder tener una visión de la distribución del tamaño de los gramos.

Figura 3.28. Tamizado en el Rop-Tap



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.29. Agregado fino y agregado grueso



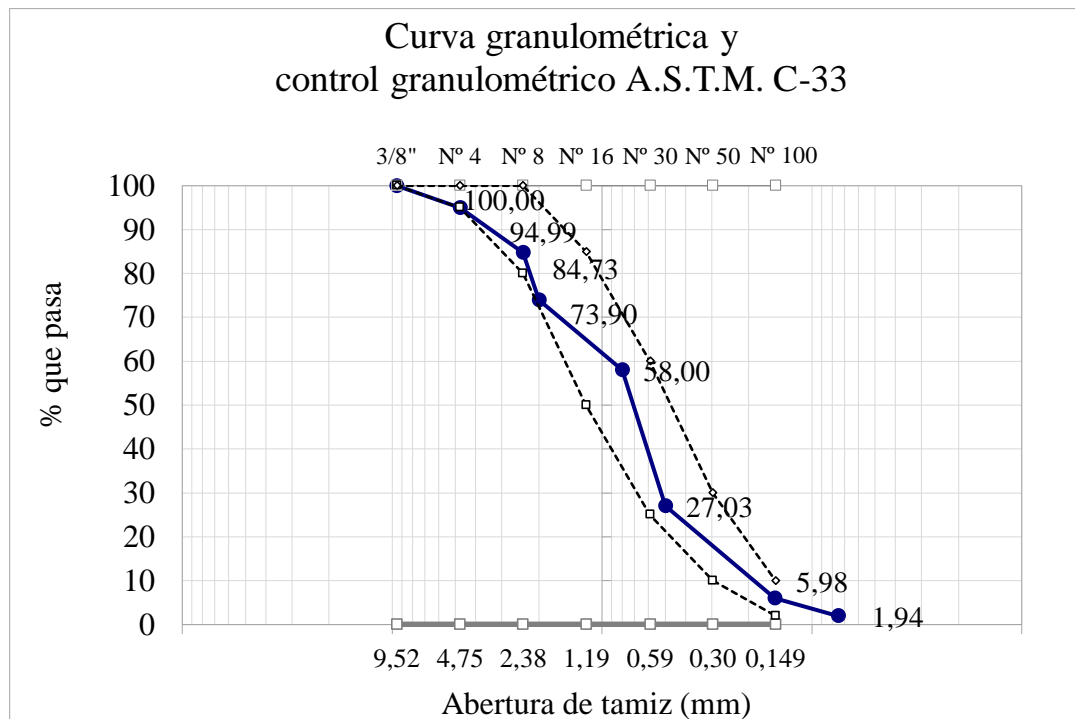
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Granulometría del agregado fino (arena)

Peso total (gr)		1000,00					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso ret. (gr)	Peso ret. acumulado		% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
			(gr)	(%)			
3/8"	9,500	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
N° 4	4,750	50,10	50,1	5,01	94,99	95	100
N° 8	2,380	102,60	152,7	15,27	84,73	80	100
N° 10	2,000	108,30	261,0	26,10	73,90	50	85
N° 30	0,800	159,00	420,0	42,00	58,00	25	60
N°50	0,500	309,70	729,7	72,97	27,03	10	30
N°100	0,150	210,50	940,2	94,02	5,98	2	10
N° 200	0,075	40,40	980,6	98,06	1,94		
Base		11,00	991,6	99,16	0,84		
Sumas =		991,60					
Perdidas =		8,40					
Módulo de finura MF =		2,55					

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.30. Curva granulométrica del agregado fino



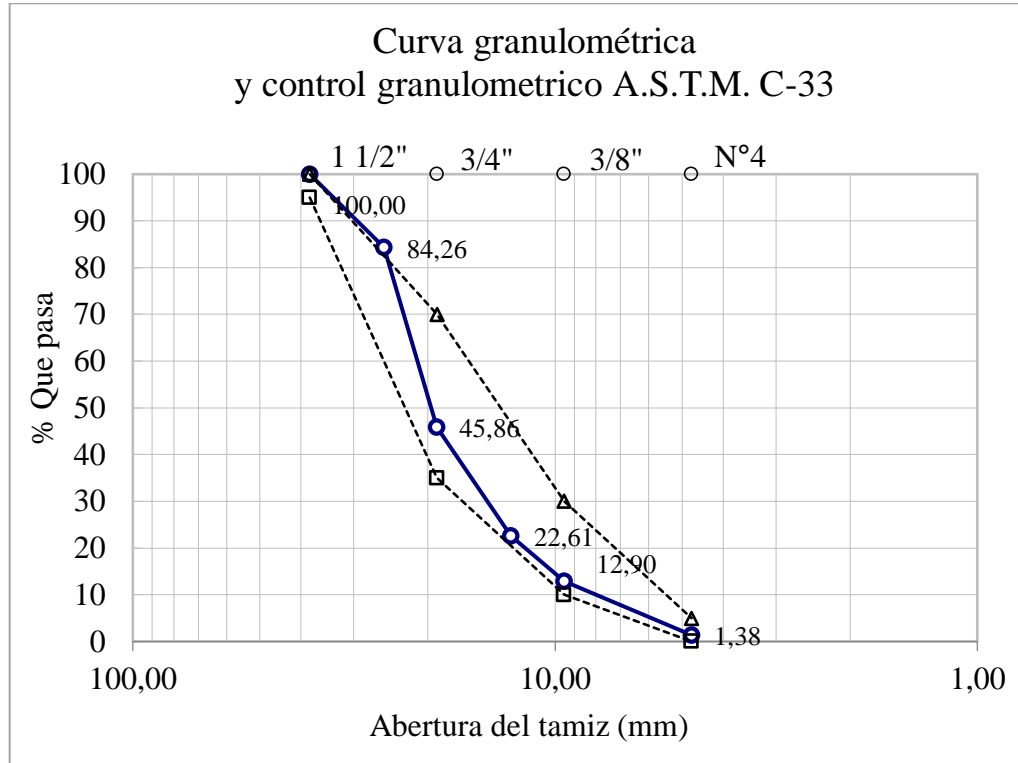
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13. Granulometría del agregado grueso (grava)

Peso total (gr)						1000,00	
Tamiz	Abertura (mm)	Peso ret. (gr)	Peso ret. acumulado		% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
			(gr)	(%)			
1 1/2"	38,10	0,0	0	0,00	100,00	95	100
1"	25,40	1573,6	1574	15,74	84,26		
3/4"	19,05	3840,1	5414	54,14	45,86	35	70
1/2"	12,70	2324,9	7739	77,39	22,61		
3/8"	9,52	971,4	8710	87,10	12,90	10	30
N°4	4,75	1152,0	9862	98,62	1,38	0	5
Base		63,1	9925	99,25			
Sumas =		9925,1					
Perdidas =		74,9					
Módulo de finura MF =		7,4					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.31. Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Peso específico del agregado

El peso específico para un material sólido cualquiera se define matemáticamente como la relación entre el peso de material entre el volumen que ocupa este. Para el caso de los agregados se emplea el peso específico relativo o peso específico en condición saturada y superficialmente seca para determinar el atributo de su densidad, este viene definido como el peso de un cierto agregado en condición de saturado y seco superficialmente, entre el peso de un volumen igual de agua destilada.

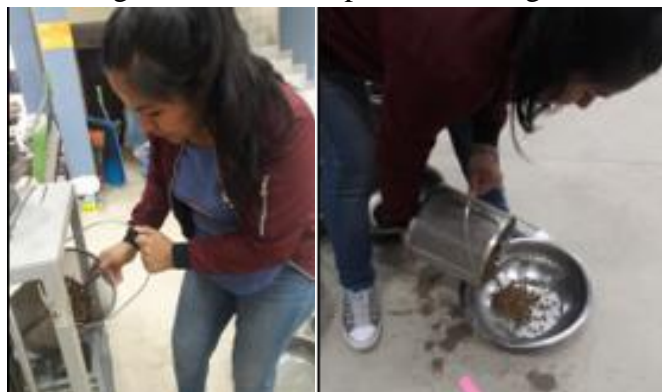
El peso específico generalmente viene ligado con la porosidad, y es posible considerar al peso específico como un buen índice de su porosidad. Más importante que el peso específico, es que las rocas se encuentren sanas, puesto que hay rocas peso específico a veces se lo considera normal, y no obstante son inaceptables para aplicarlas en hormigones por estar alteradas.

Figura 3.32. Peso específico de la arena



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.33. Peso específico de la grava



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. Peso específico del agregado fino (arena)

Peso muestra (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso Agua agregado al matraz "W" (ml) o (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Vol. del matraz "V" (ml)	P. E. granel (gr/cm ³)	P. E. S.S.S. (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de abs.
500	989	293,00	494,70	500,00	2,39	2,42	2,45	1,06
500	1041,4	304,40	484,30	500,00	2,48	2,56	2,69	3,14
500	999,4	322,40	504,20	500,00	2,84	2,82	2,77	-0,84
Promedio					2,57	2,596	2,64	1,120

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Peso específico del agregado grueso (grava)

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra sat. dentro del agua "C" (gr)	P. E. granel (gr/cm ³)	P. E. S.S.S. (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de abs.
1	4948,70	5000,00	3154,00	2,68	2,71	2,76	1,04
2	4962,90	5000,00	3112,00	2,63	2,65	2,68	0,75
3	4933,50	5000,00	3110,00	2,61	2,65	2,71	1,35
Promedio				2,65	2,68	2,72	0,89

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Peso unitario de los agregados

Peso unitario: El peso unitario de un suelo agregado, se considera como el peso de una unidad de volumen, cuando el suelo se encuentra a la humedad del ambiente. Su valor se emplea para determinar volúmenes de suelo en hormigones o simplemente de materiales apilados.

Peso unitario suelto: Al hablar de peso unitario suelto, nos referimos al peso del suelo por unidad de volumen, pero cuando este se encuentra suelto, es decir cuando no ha sido apisonado. Conocer la dimensión de esta medida, del agregado grueso y fino, es de mucha importancia, puesto que es empleado con mucha frecuencia para la determinación del

consumo del árido por metro cúbico de hormigón que se desee hacer.

Peso unitario compactado: El peso unitario compactado, es el peso del agregado, por unidad de volumen, cuando se realiza un apisonado del agregado para compactarlo. Debido a impactos, vibraciones, paso del tiempo u otros factores, el agregado sufre un acomodamiento de sus partículas, es decir se compacta, por lo que su densidad no es igual que cuando este suelto, por esto, se debe conocer el peso unitario del suelo compactado, para conocer el volumen (si se conoce el peso), o el peso (si se conoce el volumen) de los agregados apilados sujetos a acomodamientos.

Figura 3.34. Peso unitario de la grava



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.35. Peso unitario de la grava



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16. Peso unitario suelto del agregado fino (arena)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2603,50	2990,01	7242,60	4639,10	1,552
2	2603,50	2990,01	7301,90	4698,40	1,571
3	2603,50	2990,01	7337,10	4733,60	1,583
Promedio					1,569

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.17. Peso unitario compactado del agregado fino (arena)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2603,50	2990,01	7828,50	5225,00	1,747
2	2603,50	2990,01	7908,80	5305,30	1,774
3	2603,50	2990,01	7961,40	5357,90	1,792
Promedio					1,771

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.18. Peso unitario compactado del agregado grueso (grava)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2603,50	2990,01	7835,20	5231,70	1,750
2	2603,50	2990,01	7790,50	5187,00	1,735
3	2603,50	2990,01	7770,60	5167,10	1,728
Promedio					1,738

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.19. Peso unitario compactado del agregado grueso (grava)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recip. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2603,50	2990,01	8080,70	5477,20	1,832
2	2603,50	2990,01	8060,60	5457,10	1,825
3	2603,50	2990,01	8075,30	5471,80	1,830
Promedio					1,829

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Finura del cemento

La finura del cemento es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tiene lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua los granos de cemento se hidratan en una profundidad de 0,01 mm., por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que significa que el cemento es muy malo), el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado y disminuye su resistencia a las aguas agresivas.

Figura 3.36. Muestra de cemento



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.37. Tamizado del cemento



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Módulo de finura del cemento

Parámetro	Unid.	Datos obtenidos			Promedio finura del cemento
Peso retenido en tamiz N°40	gr	0,05	0,05	0,04	10,83%
Peso retenido en tamiz N°200	gr	8,70	9,45	8,45	
Peso retenido en la base	gr	40,58	39,06	40,70	
Finura del cemento (F)	%	17,50	19,00	16,98	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Peso específico del cemento

La determinación del peso específico del cemento consiste en establecer la relación entre una masa (gr) de cemento y el volumen (ml) del líquido que esta masa desplaza en el matraz de Le Chatelier. Se calcula por la siguiente fórmula:

$$PE = \frac{\text{Peso del cemento (gr)}}{\text{Volumen desplazado (m}^3\text{)}}$$

Figura 3.38. Vaciamos el cemento en gasolina



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.39. Medimos el aumento de alturas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21. Peso específico del cemento

Ensayo	Datos	Peso específico (gr/m ³)
Peso (matraz + kerosene)	537,30	3,149
Peso (matraz + kerosene + cemento)	585,80	
Volumen desplazado (m ³)	20,33	
Peso (muestra) (gr)	64,00	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Ensayo de desgaste máquina de Los Ángeles

Este método se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37,5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles, así como también evaluar la resistencia al desgaste de los agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (¾").

Este ensayo ha sido ampliamente usado como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos desimilares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones finales específicas.

Calcular el desgaste del pétreo como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 10$$

Donde:

P = Pérdida de masa de la muestra (%)

M_i = Masa inicial de la muestra (gr)

M_f = Masa final de la muestra (gr)

Figura 3.40. Grava después del desgaste



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.41. Lavado el material desgastado



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.22. Datos y cálculos para el desgaste de Los Ángeles (grava)

Pasa Tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
1"	3/4"	2500
3/4"	1/2"	2500

Prueba	1
Gradación usada	A
N° esferas	11
N° revoluciones	500
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo	5000
Pb = Peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz N° 12	3866
Pa - Pb = Perdida	1134
% desgaste	22,7%
Especificación ASTM	25% máx.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23. Datos y cálculos para el desgaste de Los Ángeles (gravilla)

Pasa Tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
3/8"	N° 3	2500
N° 3	N° 4	2500

Prueba	1
Gradación usada	C
N° Esferas	11
N° Revoluciones	500
Pa = Peso muestra seca antes del ensayo	5000
Pb = Peso muestra seca después del ensayo y después de lavar sobre tamiz N° 12	3796
Pa - Pb = Perdida	1204
% desgaste	24,1%
Especificación ASTM	25% máx.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR EL MÉTODO ACI-211

3.5.1. Características de los agregados

Tabla 3.24. Datos del material granular y el cemento

Datos obtenidos de los ensayos	Unidad	Valor
1. Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,550
2. Peso unitario compactado de la grava (PUC)	kg/m ³	1829,000
3. Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³	2,640
4. Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³	2,720
5. Absorción de la arena (Aa)	%	1,120
6. Absorción de la grava (Ag)	%	0,900
7. Humedad de la arena (Ha)	%	2,480
8. Humedad de la grava (Hg)	%	0,460
9. Tamaño máximo nominal (TMN)	plg	3/4"
10. Tamaño máximo (TM)	plg	1"
11. Peso específico del cemento	gr/cm ³	3,149

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.2. Características del diseño

Resistencia de diseño (f_c^{\wedge}) = 320 kg/cm²

Resistencia característica (f_{ck}) (Tabla 2.5) = 405 kg/cm²

Asentamiento (S) (Tabla 2.6) = 1 plg

Relación agua / cemento (a/c) (Tabla 2.7) = 0,406 s/u

3.5.3. Datos de tablas

Vol. agregado grueso / vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 2.8) = 0,71 s/u

Requerimiento de agua (A) (Tabla 2.9) = 161 kg/m³

3.5.4. Cálculos

Peso agregado grueso (PAG) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PAG} = \frac{b}{b_o} \times \text{PUC}$$

$$\text{PAG} = 0.71 \times 183$$

$$\text{PAG} = 1298,583 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

$$\frac{b}{b_0} = \text{Vol. agregado grueso / vol. unitario concreto}$$

PUC = Peso unitario compactado de la grava

$$\text{Peso cemento (PC)} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$PC = \frac{A}{\left(\frac{a}{c}\right)}$$

$$PC = \frac{161}{0,406}$$

$$PC = 396,552 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

A = Requerimiento de agua

$\left(\frac{a}{c}\right)$ = Relación agua / cemento

$$\text{Volumen de agregado grueso (VAG) } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$VAG = \frac{PAG}{\gamma_g}$$

$$VAG = \frac{1298,583}{2,72}$$

$$VAG = 477,531 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

γ_g = Peso específico de la grava

Volumen del cemento (VC) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$VC = \frac{PC}{\gamma_c}$$

$$VC = \frac{396,552}{3,149}$$

$$VC = 125,929 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

PC = Peso cemento

γ_c = Peso específico del cemento

Volumen de arena (VAF) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$VAF = 1000 - VC - A - VAG$$

$$VAF = 1000 - 125,929 - 161 - 477,531$$

$$VAF = 235,540 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

VAG = Volumen de agregado grueso

Peso del agregado fino (PAF) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$PAF = VAF \times \gamma_f$$

$$PAF = 235,540 \times 2,580$$

$$PAF = 621,674 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

γ_f = Peso específico de la arena

3.5.5. Pesos secos de los ingredientes por m³ de concreto

Tabla 3.25. Materiales para 1m³ de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Volumen absoluto lt/m ³	Peso específico gr/cm ³
Cemento	396,55	125,93	3,149
Agua	161,00	161,00	1,000
Grava	1298,58	477,53	2,720
Arena	621,67	235,54	2,640
Total	2449,60	1000,00	

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.6. Pesos húmedos de los materiales

Peso húmedo de la arena (PHA) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PHA} = \text{PAF} \times (1 + \text{Ha})$$

$$\text{PHA} = 621,674 \times \left(1 + \frac{2,48}{100} \right)$$

$$\text{PHA} = 637,092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

PAF = Peso del agregado fino

Ha = Humedad de la arena

Peso húmedo de la grava (PHG) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\text{PHG} = \text{PAG} * (1 + \text{Hg})$$

$$\text{PHG} = 1298,580 * \left(1 + \frac{0,460}{100} \right)$$

$$\text{PHG} = 1304,506 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

Hg = Humedad de la grava

3.5.7. Corrección del agua

Agua corregida a la grava (ACG) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\begin{aligned} \text{ACG} &= \text{PAG} * (\text{Ag} - \text{Hg}) \\ \text{ACG} &= 1298,580 * \left(\frac{0,9}{100} - \frac{0,460}{100} \right) \\ \text{ACG} &= 5,662 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Donde:

Ag = Absorción de la grava

Hg = Humedad de la grava

Agua corregida a la arena (ACF) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\begin{aligned} \text{ACF} &= \text{PAF} * (\text{Aa} - \text{Ha}) \\ \text{ACF} &= 621,670 * \left(\frac{1,120}{100} - \frac{2,480}{100} \right) \\ \text{ACF} &= -8,455 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Donde:

Aa = Absorción de la arena

Ha = Humedad de la arena

Total agua corregida (ATC) $\frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$

$$\begin{aligned} \text{ATC} &= \text{ACG} + \text{ACF} \\ \text{ATC} &= 5,662 + (-8,455) \\ \text{ATC} &= -2,793 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Donde:

ACG = Agua corregida a la grava

ACF = Agua corregida a la arena

3.5.8. Pesos de los ingredientes por m³ de hormigón

Tabla 3.26. Material para 1 m³ de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Peso húmedo kg/m ³
Cemento	396,552	396,552
Agua	161,000	158,207
Grava	1298,583	1304,506
Arena	621,674	637,092
Total	2477,810	2496,360

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.9. Proporciones de mezcla

$$\text{Proporción cemento} = \frac{396,552}{396,552} = 1,00$$

$$\text{Proporción arena} = \frac{396,552}{621,674} = 1,95$$

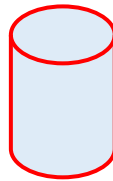
$$\text{Proporción grava} = \frac{396,552}{1298,583} = 2,82$$

Cemento	Arena	Grava
1,00	1,57	3,27

3.5.10. Dosificación para las probetas cilíndricas

Datos:

$$\text{Vol para 1 probeta} = 0,0053014\text{m}^3$$



$$\text{Peso cemento(kg)} = \left(\text{Vol probeta} \times \frac{\text{kg cemento}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso cemento} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 396,552 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 396,552 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso cemento} = 2,313 \text{ kg}$$

$$\text{Peso agua(kg)} = \left(\text{Vol probeta} \times \frac{\text{kg agua}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso agua} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 158,207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 158,207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso agua} = 0,939 \text{kg}$$

$$\text{Peso grava(kg)} = \left(\text{Vol probeta} \times \frac{\text{kg grava}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso grava} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 1304,506 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 1304,506 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso grava} = 7,573 \text{kg}$$

$$\text{Peso arena(kg)} = \left(\text{Vol probeta} \times \frac{\text{kg arena}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso arena} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 637,092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 637,092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso arena} = 3,625 \text{ kg}$$

Tabla 3.27. Dosificación para 1 probeta cilíndrica

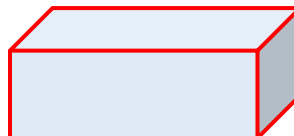
Material	kg para 1 probeta
Cemento	2,313
Agua	0,939
Grava	7,573
Arena	3,625
Total	14,449

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.11. Dosificación para las vigas

DATOS:

$$\text{Vol para 1 viga estándar} = 0,50 \times 0,150 \times 0,15 = 0,01125 \text{ m}^3$$



$$\text{Peso cemento(kg)} = \left(\text{Vol viga} \times \frac{\text{kg cemento}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso cemento} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 396,552 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 396,552 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso cemento} = 4,907\text{kg}$$

$$\text{Peso agua(kg)} = \left(\text{Vol viga} \times \frac{\text{kg agua}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso agua} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 158,207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 158,207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso agua} = 1,992\text{kg}$$

$$\text{Peso grava(kg)} = \left(\text{Vol viga} \times \frac{\text{kg grava}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso grava} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 1304,506 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 1304,506 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso grava} = 16,070\text{kg}$$

$$\text{Peso arena (kg)} = \left(\text{Vol viga} \times \frac{\text{kg arena}}{\text{m}^3} \right) + 10\% \text{perdidas}$$

$$\text{Peso arena} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 637,092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 637,092 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso arena} = 7,693\text{kg}$$

Tabla 3.28. Dosificación para 1 viga estándar

Material	kg para 1 viga
Cemento	4,907
Agua	1,992
Grava	16,070
Arena	7,693
Total	30,663

Fuente: Manual para el método ACI-211

DATOS:

Vol para 1 viga Ultradelgada = $0,50 \times 0,150 \times 0,06 = 0,0045 \text{ m}^3$

Altura = 0,06 m



Tabla 3.29. Dosificación para 1 viga ultradelgada

Material	kg para 1 viga
Cemento	1,963
Agua	0,797
Grava	6,428
Arena	3,077
Total	12,265

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.6. DOSIFICACIÓN DE FIBRA SINTÉTICA PARA LOS MOLDES

Para cada molde existe una cantidad calculada de fibra en gramos que se calculó haciendo una relación entre el peso de hormigón para 1 molde y el peso de 1 m^3 de concreto, ya que para un 1 m^3 de hormigón son 600 gr de fibra según las especificaciones técnicas del fabricante, mismo que sé que se encuentra en el anexo 3.

Datos para 1 probeta:

$$1 \text{ m}^3 = 2500 \text{ kg de hormigón} = 2500000 \text{ gr}$$

$$\text{Gramos de fibra para } 1 \text{ m}^3 = 600 \text{ gr}$$

$$\text{Peso de hormigón para 1 probeta} = 14,449 \text{ kg de hormigón} = 14449 \text{ gr}$$

$$\begin{array}{l} 2500000 \text{ gr} \rightarrow 100\% \\ 600 \text{ gr} \rightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{600 \text{ gr} \times 100\%}{2500000 \text{ gr}}$$

$$X = 0,025 \%$$

A partir de este porcentaje se tomaron 3 porcentajes más para poder realizar la investigación de este material, como actúa el hormigón si el porcentaje se incrementa. Se trabajará con 0,025%, 0,05%, 0,1% y 0,2%

$$100\% \rightarrow 14449 \text{ gr}$$

$$0,025\% \rightarrow X$$

$$X = \frac{14449 \text{ gr} \times 0,025\%}{100\%}$$

$$X = 3,612 \text{ gr}$$

Datos para 1 viga estándar:

Peso de hormigón para 1 viga = 30,663 kg = 30663 gr

$$100\% \rightarrow 30663 \text{ gr}$$

$$0,025\% \rightarrow X$$

$$X = \frac{30663 \text{ gr} \times 0,025\%}{100\%}$$

$$X = 7,666 \text{ gr}$$

Datos para 1 viga Ultradelgada:

Peso de hormigón para 1 viga = 12,265 kg = 12265 gr

$$100\% \rightarrow 12265 \text{ gr}$$

$$0,025\% \rightarrow X$$

$$X = \frac{12265 \text{ gr} \times 0,025\%}{100\%}$$

$$X = 3,066 \text{ gr}$$

Tabla 3.30. Dosificaciones según su porcentaje de fibras sintéticas

Dosificaciones según su porcentaje de fibras sintéticas para vigas y probetas		
Fibra para 1 probeta (%)	Fibra para 1 probeta (gr)	Fibra para 3 probetas (gr)
0,025	3,612	10,838
0,050	7,225	21,674
0,100	14,449	43,347
0,200	28,898	86,694
Fibra para 1 viga (%)	Fibra para 1 viga (gr)	Fibra para 3 vigas (gr)
0,025	7,666	22,997
0,050	15,332	45,995
0,100	30,663	91,989
0,200	61,326	183,978
Fibra para 1 viga (%)	Fibra para 1 viga (gr)	Fibra para 3 vigas (gr)
0,025	3,066	9,199
0,050	6,133	18,398
0,100	12,265	36,795
0,200	24,530	73,590

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.7. DOSIFICACIÓN DE FIBRA METÁLICA PARA LOS MOLDES

Para cada molde existe una cantidad calculada de fibra en gramos que se calculó haciendo una relación entre el peso de hormigón para 1 molde y el peso de 1 m³ de concreto, ya que para un 1m³ de hormigón son 15 kg de fibra según las especificaciones técnicas del fabricante, mismo que sé que se encuentra en el anexo 3.

Datos para 1 probeta:

$$1 \text{ m}^3 = 2500 \text{ kg de hormigón}$$

$$\text{Gramos de fibra para } 1 \text{ m}^3 = 15 \text{ kg}$$

$$\text{Peso de hormigón para 1 probeta} = 14,449 \text{ kg de hormigón}$$

$$2500 \text{ kg} \rightarrow 100\%$$

$$15 \text{ kg} \rightarrow X$$

$$X = \frac{15 \text{ kg} \times 100\%}{2500 \text{ kg}}$$

$$X = 0,6 \%$$

A partir de este porcentaje se tomaron 3 porcentajes más para poder realizar la investigación de este material, como actúa el hormigón si el porcentaje se incrementa. Se trabajará con 0,6%, 0,8%, 1% y 1,2%

$$\begin{array}{l} 100\% \rightarrow 14449 \text{ gr} \\ 0,6\% \rightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{14449 \text{ gr} \times 0,6\%}{100\%}$$

$$X = 86,694 \text{ gr}$$

Datos para 1 viga estándar:

Peso de hormigón para 1 viga = 30,663 kg = 30663gr

$$\begin{array}{l} 100\% \rightarrow 30663 \text{ gr} \\ 0,6\% \rightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{30663 \text{ gr} \times 0,6\%}{100\%}$$

$$X = 183,978 \text{ gr}$$

Datos para 1 viga Ultradelgada:

Peso de hormigón para 1 viga = 12,265 kg = 12265 gr

$$\begin{array}{l} 100\% \rightarrow 12265 \text{ gr} \\ 0,6\% \rightarrow X \end{array}$$

$$X = \frac{12265 \text{ gr} \times 0,6\%}{100\%}$$

$$X = 73,590 \text{ gr}$$

Tabla 3.31. Dosificaciones según su porcentaje de fibras metálicas

Dosificaciones según su porcentaje de fibras metálicas para vigas y probetas		
Fibra para 1 probeta (%)	Fibra para 1 probeta (gr)	Fibra para 3 probetas (gr)
0,6	86,694	260,082
0,8	115,592	346,776
1,0	144,490	433,470
1,2	173,388	520,164
Fibra para 1 viga (%)	Fibra para 1 viga (gr)	Fibra para 3 vigas (gr)
0,6	183,978	551,934
0,8	245,304	735,912
1,0	306,630	919,890
1,2	367,956	1103,868
Fibra para 1 viga (%)	Fibra para 1 viga (gr)	Fibra para 3 vigas (gr)
0,6	73,59	220,77
0,8	98,12	294,36
1,0	122,65	367,95
1,2	147,18	441,54

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.8. USO DEL SOFTWARE PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS AASHTO 1993

Para el uso de programa seguimos los siguientes pasos para obtener cada uno de los factores que requiere el programa para el cálculo del espesor del pavimento:

- a) Obtener el TPD de la vía en estudio

Tabla 3.32. Tránsito promedio diario del camino a Viscacheral (Villa Montes)

Días	Privado			Público			Tot.
	Automóviles y vagonetas	Camionetas (hasta 2 t)	Camiones medianos (2,5 a 10,0 t) (2 ejes)	Automóviles y vagonetas	Camionetas (hasta 2 t)	Camiones medianos (2,5 a 10,0 t) (2 ejes)	
Lunes	25	19	4	4	0	0	55
Martes	16	21	4	3	0	0	45
Miércoles	19	13	2	3	0	0	39
Jueves	18	13	3	2	0	0	36
Viernes	19	20	3	0	0	0	41
Sábado	13	12	2	2	0	0	29
Domingo	12	11	2	0	0	0	24
Tot.semanal	122	109	20	14	0	0	
Tot. veh.	136	109	20				
TPD	19,43	15,57	2,86				

Fuente: Elaboración propia

b) Según el tipo de vía en estudio elegir el periodo de análisis, según la tabla:

Tabla 3.33. Periodo de análisis de la vía

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Pavimentada de bajo volumen de tráfico: $n = 15$ años

c) Usando el índice de crecimiento de cada tipo de vehículo se calcula el factor de crecimiento (FC)

Tabla 3.34. Tabla índice de crecimiento vehicular

Tipo de vehículo	Peso máximo (t)	Peso máximo (kn)	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento
Vehículos livianos (automóviles y vagonetas)	2,0	19,61	0,03	18,351
Vehículos medianos (camioneta y minibuses)	3,0	29,42	0,02	16,812
Vehículos pesados	8,0	78,45	0,0025	15,265

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Donde:

FC = Factor de crecimiento

i = Índice de crecimiento (%)

n = Periodo de análisis (años)

Vehículos livianos automóviles y vagonetas: $i = 0,03$

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$FC = \frac{(1+0,03)^{15} - 1}{0,03}$$

$$FC = 18,351$$

d) Cálculo del número de ESAL's

Tabla 3.35. Factores de equivalencia de carga (LEF's)

Carga por eje		LEF's								
		D plg (mm)								
(kips)	(kn)	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		152,4	177,8	203,2	228,6	254	279,4	304,8	330,2	355,5
2	8,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	17,8	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	26,7	0,011	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8	35,6	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
10	44,5	0,087	0,084	0,082	0,081	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
12	53,4	0,186	0,18	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
14	62,3	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336	0,336
16	71,2	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
18	80	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	89	1,55	1,56	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59	1,59
22	97,9	2,32	2,32	2,35	2,38	2,4	2,41	2,41	2,41	2,42
26	115,7	4,46	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	5,06
28	124,6	6,58	6,44	6,52	6,7	6,85	6,94	7	7,02	7,04
32	142,6	11,9	11,5	11,5	11,8	12,2	12,4	12,6	12,7	12,7
34	151,3	15,5	15	14,9	15,3	15,8	16,2	16,4	16,6	16,7
36	160	20,1	19,3	19,2	19,5	20,1	20,7	21,1	21,4	21,5
40	178	32,2	30,8	30,4	30,7	31,6	32,6	33,4	34	34,4
42	186,9	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
44	195,8	40,1	38,4	37,7	38	38,9	40,1	41,3	42,1	42,7
46	204,7	60,4	57,7	56,6	56,7	57,7	59,3	61,1	62,6	63,7
48	213,6	73,2	69,9	68,4	68,4	69,4	71,2	73,3	75,3	76,8
50	222,5	88	84,1	82,2	82	83	84,9	87,4	89,8	91,7

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Tabla 3.36. Cálculo de N° de ESAL's

Tipo de vehículo (eje simple)	Volumen de tráfico (tabla 3.32)	Tránsito de diseño (TPD) (VTD x FC x 365)	LEF's (tabla 3.35)	N° de ESAL's (TPD x LEF's)
Vehículos livianos (automóviles y vagonetas)	19,43	13013,9	0,0013	1,69
Vehículos medianos (camiones y minibuses)	15,57	9552,6	0,0036	34,39
Vehículos pesados	2,86	15911,6	2,39	31985,54
Total				32051,12

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

e) Cálculo del número previsto de ejes equivalentes de 18 kips, a lo largo del periodo de diseño

$$W_{18} = \text{ESAL} \times \text{FD} \times \text{FC}$$

Donde:

W_{18} = Unidades ESAL de 18Kips acumulados, previstas para una seccion.

Nº previsto de ejes equivalentes de 18 kips, a lo largo del periodo de diseño.

FD = Factor direccional 0,5 corresponde a caminos de dos direcciones por calzada.

FC = Factor de carril 0,9 corresponde a un carril por dirección o sentidos.

Tabla 3.37. % ESAL de 18 kips

Número de carriles en cada dirección	% ESAL's de 18 kips en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Número de carriles en cada dirección 2: % ESAL's = 90%

$$W_{18} = 32051,12 \times 0,9 \times 0,5$$

$$W_{18} = 12820,45$$

f) Cálculo de la serviciabilidad del pavimento (Δ Psi)

$$\Delta \text{Psi} = P_o - P_t$$

P_o = Serviciabilidad inicial; 4,5 para pavimento rígido.

P_t = Serviciabilidad final; 2 para caminos de menor tránsito.

$$\Delta \text{Psi} = 4,5 - 2$$

$$\Delta \text{Psi} = 2,5$$

g) Cálculo del módulo de elasticidad (E_c)

$$\text{Resistencia a compresión (banco Capirendita) } f'c = 209,288 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 2976,787 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

$$E_c = 5700 \times \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 5700 \times \sqrt{2976,787 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}}$$

$$E_c = 3109916,521 \text{ Psi}$$

h) Coeficiente de drenaje

$C_d = 1$ (Buena calidad de drenaje)

i) Se elige el nivel de confiabilidad según el tipo de camino

Tabla 3.38. Nivel de confiabilidad

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado (%)	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías libres	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 90	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Por ser una vía pavimentada de bajo volumen de tráfico, se diseñará para un periodo de: 15 años

j) Cálculo módulo resiliente efectivo de la subrasante

Módulo resiliente efectivo de la subrasante (M_R)

$CBR = 6\%$

$$M_R (\text{Psi}) = 1500 \times C. B. R \quad (C. B. R. < 10\%)$$

$$M_R (\text{Psi}) = 1500 \times 6$$

$$M_R = 9000 \text{ Psi}$$

k) Escogemos el tipo de berma para obtener el coeficiente de transferencia de carga

Tabla 3.39. Coeficiente de transferencia de carga

Berma	Asfalto		PCC unido	
	Si	No	Si	No
Dispositivo de transferencia de cargas				
Tipo de pavimento				
Simple con juntas y reforzado con juntas	3,2	3,8 - 4,4	2,5 - 3,1	3,6 - 4,2
CRCP	2,9 - 3,2	N/A	2,3 - 2,9	N/A

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

JCP o JRCP con algún tipo de transferencia de carga:

$$J = 3,2 \text{ con barras lisas o dowels}$$

l) Cálculo del módulo de reacción efectivo de la subrasante

Tabla 3.40. Valores típicos de módulo elástico de la base y pérdida de soporte (LS)

Tipo de material	Pérdida de soporte (LS)
Base granular tratada con cemento (E=1 000 000 a 2 000 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Mezclas de agregado y cemento (E=500 000 a 1 000 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Base tratada con asfalto (E=350 000 a 1 000 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Mezclas estabilizadas con materiales bituminosos (E=40 000 a 300 000 lb/plg ²)	0,0 a 1,0
Mezclas estabilizadas con cal (E=20 000 a 70 000 lb/plg ²)	1,0 a 3,0
Materiales granulares no aglomerados (E=15 000 a 45 000 lb/plg ²)	1,0 a 3,0
Materiales de grano fino o subrasante natural (E=3 000 a 40 000 lb/plg ²)	2,0 a 3,0

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Datos para ingresar al ábaco:

Para materiales granulares no aglomerados $E = 30000 \text{ Psi (lb/plg}^2\text{)}$

Perdida de soporte $LS = 2$

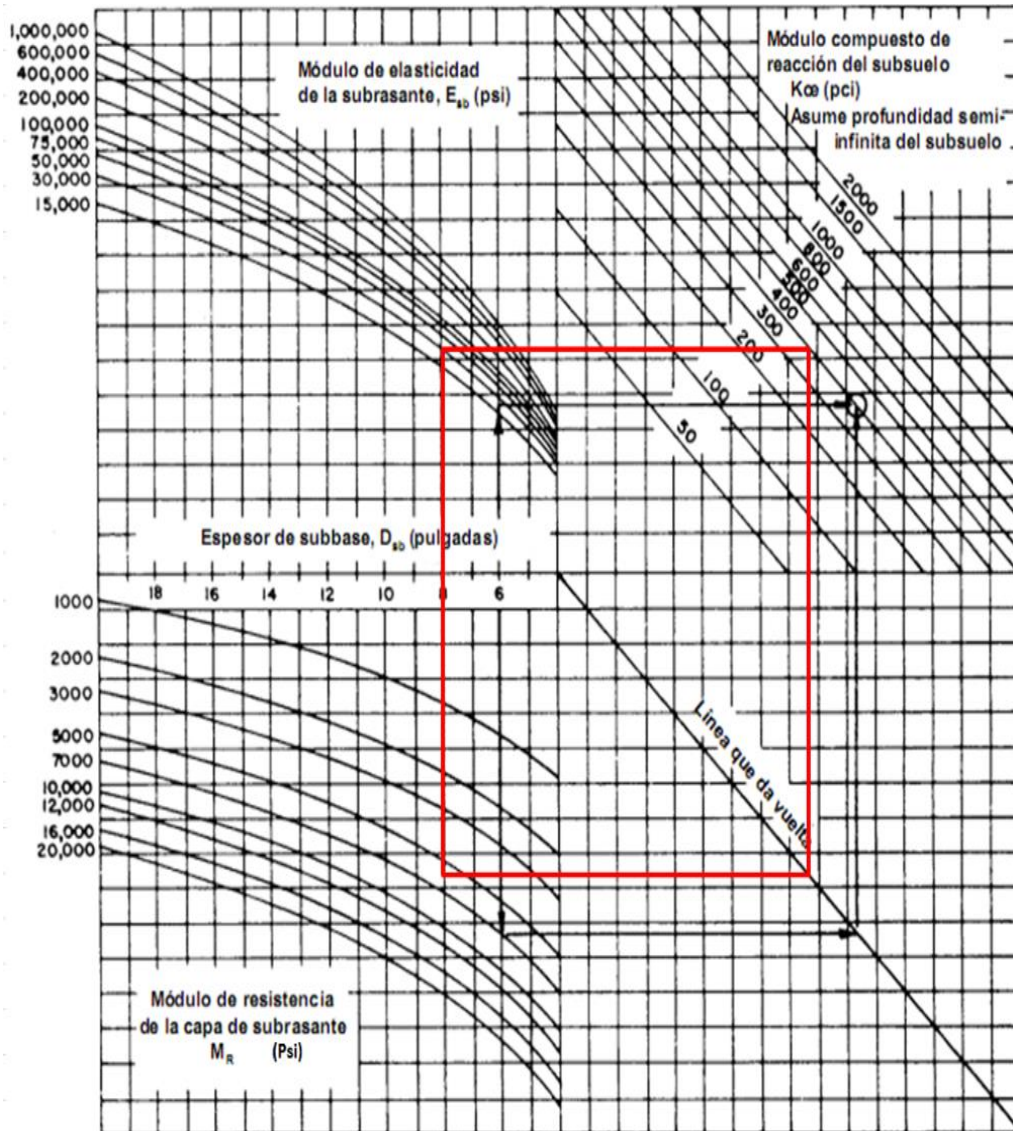
Módulo de reacción de subrasante $(MR) = 6000 \text{ Psi}$

Espesor Base $(e) = 8,00 \text{ plg} = 20,32 \text{ cm}$

$k_{\infty} = 400 \text{ lb/plg}^3$

Ábaco:

Figura 3.42. Módulo compuesto de reacción de la subrasante



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Módulo resiliente de subrasante:

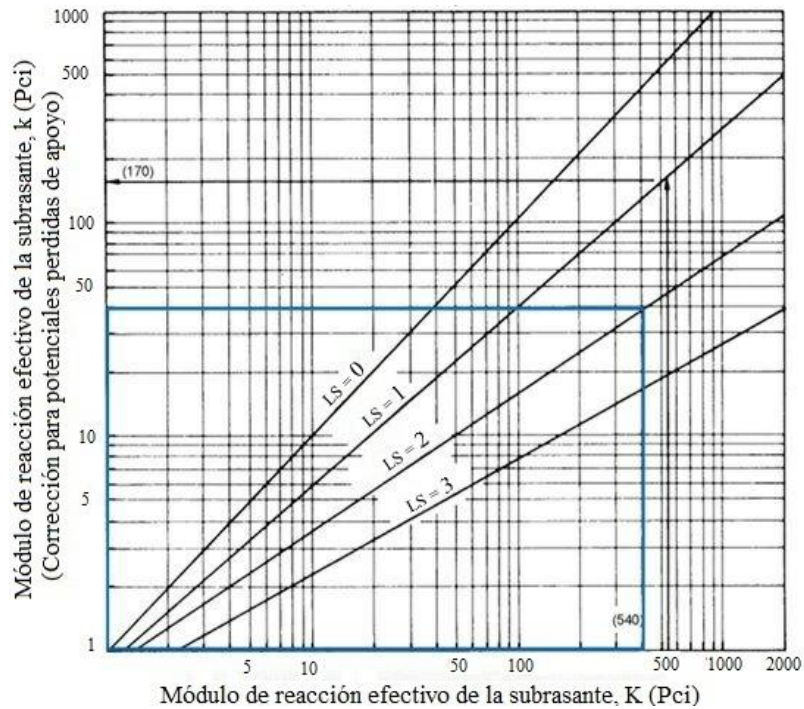
$$MR = 900 \text{ Psi (lb/plg}^2\text{)}$$

Módulo compuesto de reacción de subrasante:

$$k_{\infty} = 400 \text{ Psi (lb/plg}^3\text{)}$$

m) Corrección del módulo efectivo de reacción de subrasante

Figura 3.43. Gráfico para la corrección del módulo efectivo de reacción de subrasante



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993

Factor de pérdida de apoyo de subbase = 2

Módulo de reacción compuesto "efectivo" de subrasante:

$$K = 57 \text{ Psi (lb/plg}^3\text{)} \text{ (tabla 2.20)}$$

n) Diseño del pavimento

Para el diseño, tenemos los siguientes datos:

Módulo de reacción de la subrasante (k) (Psi) = 57 Psi

Módulo de elasticidad del concreto (E_c) (Psi) = 3066370,5 Psi

Módulo de rotura S_c (Psi) = 37,785 Kg/cm² = 537,43 Psi

Coefficiente de transmisión de carga (J) = 3,2

Coefficiente de drenaje (C_d) = 1

Confiabilidad (R) (%) = 80% ($Z_r = -0.524$)

Serviciabilidad (ΔPSI) = 2,5

W18 (Psi) = 12820,45

Figura 3.44. Ventana principal del software para diseño de pavimentos AASHTO 1993

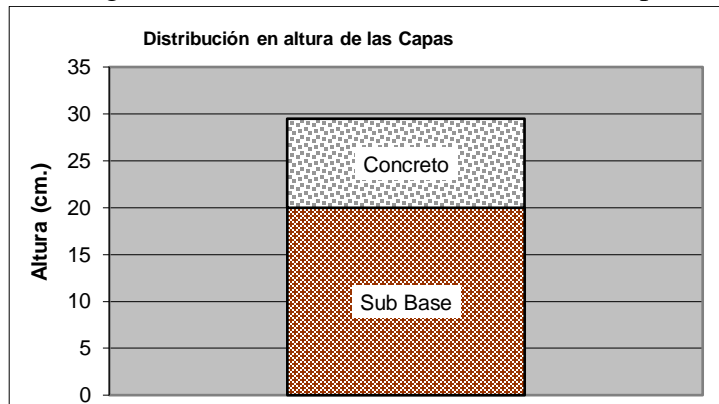
Fuente: Software AASHTO 1993

o) Obtenemos el espesor del pavimento de concreto:

Sub-base D = 8,00 pulgadas = 20 cm

Concreto D = 3,59 pulgadas = 9,12 cm ~ 9,50

Figura 3.45. Distribución en altura de las capas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.41. Cálculo del espesor del pavimento con fibra sintética

Dosificación de fibra (%)	Módulo de elasticidad (Ec)	Módulo ruptura (Sc)	Espesor de la losa	
			cm	Altura práctica (cm)
0,520	3315166,31	543,09	9,04	9,50
0,200	2836259,85	583,77	8,43	9,00
0,100	3254631,88	560,16	8,79	9,00
0,025	3009824,41	544,54	8,89	9,00
0	3066370,48	537,43	9,12	9,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.42. Cálculo del espesor del pavimento con fibra metálica

Dosificación de fibra (%)	Módulo de elasticidad (Ec)	Módulo ruptura (Sc)	Espesor de la losa	
			cm	Altura práctica (cm)
1,2	3454511,50	637,82	8,23	8,50
1,0	3400133,10	627,46	8,26	8,50
0,8	3331109,63	613,20	8,26	8,50
0,6	3280555,02	594,19	8,53	9,00
0	3066370,48	537,43	9,12	9,50

Fuente: Elaboración propia

3.9. CÁLCULO DEL ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO MÉTODO PCA

Datos:

Con fibras sintéticas

Resistencia k de apoyo (basado en el %CBR= 6) = 15,744 Mpa/m

Espesor de la losa (asumir) = 60 mm




Módulo de rotura de la losa = 4,33 Mpa

Con bermas

Factor de seguridad de carga = 1,0 (calles secundarias con muy poco tráfico pesado)

Factor de mayoración de repeticiones = 1,0

Tabla 3.43. Tipos de vehículo para vía en estudio

Tipo de vehículos	Figura
Automóviles y vagonetas	
Camionetas (hasta 2 t)	
Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del TPDA de cada tipo de vehículo:

Tabla 3.44. Tráfico promedio diario semanal

Fecha	Día	Conteo diario durante 24hrs. (TD)	Factor diario TPDS/TD
06/08/2018	Lunes	55,00	0,700
07/08/2018	Martes	45,00	0,850
08/08/2018	Miércoles	39,00	0,990
09/08/2018	Jueves	36,00	1,070
10/08/2018	Viernes	41,00	0,940
11/08/2018	Sábado	29,00	1,330
12/08/2018	Domingo	24,00	1,600
Total		269,00	7,470
TPDS		38,43	fd = 1,070

Fuente: Elaboración propia

$$TPDS = \frac{269}{7(\text{días})} = 38,43$$

$$\text{Factor diario (fd)} = \frac{7,47}{7} = 1,07$$

Donde:

TD = Tráfico diario

TPDS = Tráfico promedio diario semanal

Tabla 3.45. Tráfico promedio diario mensual

Mes	Días del mes	TPDS	Tráfico mensual (TM)	Factor mensual TPDS/TM
Enero	31	38,43	1191,29	0,980
Febrero	28	38,43	1076,00	1,090
Marzo	31	38,43	1191,29	0,980
Abril	30	38,43	1152,86	1,010
Mayo	31	38,43	1191,29	0,980
Junio	30	38,43	1152,86	1,010
Julio	31	38,43	1191,29	0,980
Agosto	31	38,43	1191,29	0,980
Septiembre	30	38,43	1152,86	1,010
Octubre	31	38,43	1191,29	0,980
Noviembre	30	38,43	1152,86	1,010
Diciembre	31	38,43	1191,29	0,980
Total			14026,43	12,010
TPDM			1168,87	fm = 1,001

Fuente: Elaboración propia

$$TPDM = \frac{14026,43}{12(\text{meses})} = 1168,87$$

$$\text{Factor mensual(fm)} = \frac{12,010}{12} = 1,001$$

$$TPDA = TPDS \times fd \times fm$$

$$TPDA(\text{automóviles}) = 77,714 \times 1,07 \times 1,001 = 82,992$$

$$TPDA(\text{camionetas}) = 62,286 \times 1,07 \times 1,001 = 66,516$$

$$TPDA(\text{camiones}) = 13,714 \times 1,07 \times 1,001 = 14,646$$

Donde:

TM = Tráfico mensual

TPDM = Tráfico promedio diario mensual

Tabla 3.46. Tráfico promedio diario anual

	Automóviles y vagonetas	Camionetas (hasta 2 t)	Camiones medianos (de 2,5 a 10 t; de 2 ejes)	Total
TS	136,000	109,000	24,000	269,000
TPDS	77,714	62,286	13,714	153,714
TPDA	82,992	66,516	14,646	164,153

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la introducción de datos asumiendo la altura del pavimento y verificando que las unidades estén en el mismo sistema.

Figura 3.46. Ventana de inicio de software BS-PCA

Fuente: Elaboración propia

Se introducen las repeticiones esperadas de cada tipo de vehículo según el peso de sus ejes, esto es igual al TPDA de cada tipo de vehículo aforado en el estudio de tráfico.

Figura 3.47. Tránsito de ejes de software BS-PCA

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	9,81	82,992
2	19,61	66,516
3	24,52	14,646
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Fuente: elaboración propia

El cálculo se verifica ya que el método establece que el análisis de esfuerzo y el análisis de erosión deben ser menores al 100%. Por lo tanto el espesor vendría a ser 6 cm.

3.10. CONSTRUCCIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS Y VIGAS

Después del cálculo de la dosificación el procedimiento que se siguió para la construcción de las probetas cilíndricas y vigas fue el pesado de los materiales en diferentes fuentes, seguido de la preparación de mezcla con fibras tanto sintéticas como de metálicas, una vez mezclado los materiales se procedió a realizar la prueba del cono de Abrahams para verificar que la mezcla cumple con los rangos de asentamiento y para finalmente realizar el vaciado en los moldes. Se ilustra el procedimiento con las siguientes imágenes:

No existe una norma en sí que permita el uso de vigas con alturas menores a la estándar (15 cm) en laboratorio de hormigones, pero la elaboración de estas vigas de menor altura las vigas con altura menores a la estándar se realizaron con el objetivo de analizar y observar cómo trabajan las fibras sintéticas y metálicas cuando son sometidas a flexión siendo que estas ayudan a disminuir la formación de fisuras en el concreto, así también

principalmente se quiso observar mediante este ensayo si existe una diferencia significativa en cuanto a sus resistencias de flexo-tracción y su costo de elaboración.

Figura 3.48. Agregados pétreos, fibras y moldes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.49. Vaciado de material a la mezcladora



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.50. Hormigón obtenido con fibras sintéticas y metálicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.51. Ensayo del asentamiento de cono de Abrams



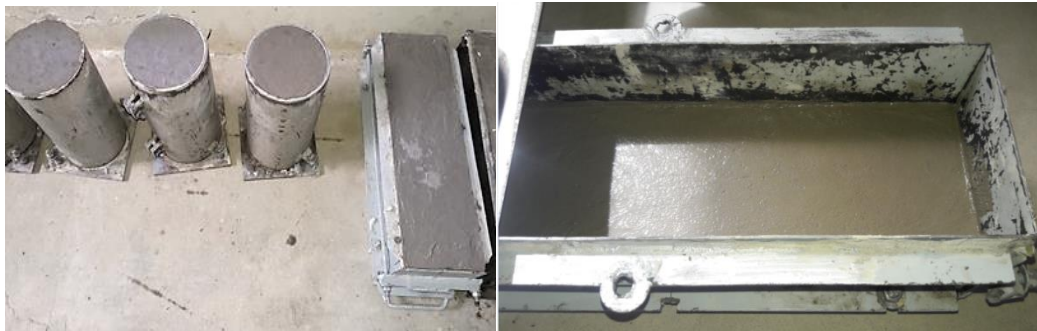
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.52. Vaciado del hormigón en los moldes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.53. Moldes terminados



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.54. Curado del hormigón



Fuente: Elaboración propia

3.11. PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máx. obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. (ASTM C-39).

Figura 3.55. Pesado de los moldes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.56. Rotura de probetas cilíndricas y vigas



Fuente: Elaboración propia

3.11.1. Resultados del ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas

A continuación se muestra la tabla 3.47 donde se puede observar los resultados del ensayo de resistencia de las probetas de hormigón, que fueron sometidas a compresión en el laboratorio de hormigones, junto con su memoria fotográfica.

Tabla 3.47. Tabla de los resultados de las probetas con fibras sintética

	Datos de las probetas			Cantidad de fibra en 1 probeta (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)			
1	15,000	30,000	14,045	Convencional	184,180	203,468
2	15,000	30,000	13,945	Convencional	188,208	
3	15,000	29,990	14,015	Convencional	238,018	
4	14,959	30,000	13,020	0,025	187,357	196,033
5	15,000	29,987	12,870	0,025	196,857	
6	14,980	29,978	13,075	0,025	203,886	
7	14,990	30,000	13,030	0,052	214,995	237,825
8	14,970	30,000	12,955	0,052	233,276	
9	15,000	30,000	13,045	0,052	265,203	
10	14,980	29,940	13,005	0,100	189,250	229,219
11	14,960	29,985	13,070	0,100	233,693	
12	14,985	30,000	13,095	0,100	264,713	
13	14,990	30,000	13,125	0,200	163,665	174,076
14	15,000	29,980	13,090	0,200	173,485	
15	15,000	29,990	12,970	0,200	185,078	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.57. Resultado de las pruebas de rotura a compresión



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.48. Tabla de los resultados de las probetas con fibras metálicas

	Datos de las probetas			Cantidad de fibra en 1 probeta (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)			
1	15,000	29,978	14,013	Convencional	184,180	203,468
2	15,000	30,000	13,855	Convencional	188,208	
3	15,000	30,000	13,655	Convencional	238,018	
4	15,000	30,000	13,245	0,60	220,250	232,885
5	15,000	29,940	13,315	0,60	233,693	
6	15,000	29,985	13,070	0,60	244,713	
7	15,000	30,000	13,595	0,80	235,130	240,118
8	15,000	30,000	13,325	0,80	239,208	
9	15,000	29,990	13,790	0,80	246,018	
10	15,000	30,000	13,470	1,00	248,728	250,172
11	15,000	29,987	13,575	1,00	250,639	
12	15,000	30,000	13,430	1,00	251,150	
13	15,000	29,990	13,755	1,20	255,450	258,238
14	15,000	29,980	13,545	1,20	259,485	
15	15,000	30,000	13,622	1,20	259,779	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.58. Resultado de las pruebas de rotura a compresión



Fuente: Elaboración propia

3.11.2. Resultados del ensayo de resistencia a flexo-tracción de vigas rectangulares

A continuación se muestra las tablas 3.49, 3.50, 3.51 y 3.52 donde se puede observar los resultados del ensayo de resistencia de las vigas de hormigón, que fueron sometidas a flexo-tracción en el laboratorio de hormigones tanto vigas estándar como ultradelgadas, junto con su memoria fotográfica.

Tabla 3.49. Tabla de los resultados de vigas estándar con fibras sintética

	Datos de las vigas				Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)			
1	50,000	15,000	30,000	29,125	Convencional	36,910	37,785
2	50,000	15,000	30,000	29,488	Convencional	37,499	
3	50,000	15,000	29,990	29,633	Convencional	38,947	
4	50,000	15,000	30,000	29,453	0,025	37,710	38,285
5	50,000	15,000	29,987	29,354	0,025	38,499	
6	50,000	15,000	29,978	29,178	0,025	38,647	
7	50,000	15,000	30,000	29,053	0,052	37,657	38,183
8	50,000	15,000	30,000	28,965	0,052	37,750	
9	50,000	15,000	30,000	28,647	0,052	39,143	
10	50,000	15,000	29,940	28,985	0,100	38,562	39,383
11	50,000	15,000	29,985	28,678	0,100	39,162	
12	50,000	15,000	30,000	27,972	0,100	40,424	
13	50,000	15,000	30,000	27,725	0,200	40,345	41,043
14	50,000	15,000	29,980	27,740	0,200	40,819	
15	50,000	15,000	29,990	27,625	0,200	41,965	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.59. Resultado de las pruebas de rotura a flexo-tracción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.50. Tabla de los resultados de vigas ultradelgadas con fibras sintética

	Datos de las vigas				Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)			
1	50,000	15,000	6,000	12,188	Convencional	36,120	36,776
2	50,000	15,000	6,000	12,023	Convencional	36,499	
3	50,000	15,000	6,100	12,098	Convencional	37,710	
4	50,000	15,000	5,900	11,145	0,025	36,853	37,287
5	50,000	15,000	6,000	12,120	0,025	37,257	
6	50,000	15,000	6,000	12,009	0,025	37,750	
7	50,000	15,000	6,000	11,032	0,052	37,261	37,851
8	50,000	15,000	6,000	11,110	0,052	37,150	
9	50,000	15,000	6,100	11,896	0,052	39,143	
10	50,000	15,000	6,000	11,744	0,100	38,562	38,629
11	50,000	15,000	6,000	11,853	0,100	39,162	
12	50,000	15,000	6,000	11,722	0,100	38,162	
13	50,000	15,000	5,900	10,977	0,200	39,345	40,376
14	50,000	15,000	6,000	11,520	0,200	40,819	
15	50,000	15,000	6,000	11,766	0,200	40,965	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.60. Resultado de las pruebas de rotura a flexo-tracción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.51. Tabla de los resultados de vigas estándar con fibras metálica

	Datos de las vigas				Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)			
1	50,000	15,000	15,000	29,125	Convencional	36,910	37,785
2	50,000	15,000	15,000	29,488	Convencional	37,499	
3	50,000	15,000	15,000	29,633	Convencional	38,947	
4	50,000	15,000	15,000	29,453	0,60	41,045	41,776
5	50,000	15,000	15,000	29,354	0,60	41,319	
6	50,000	15,000	15,000	29,178	0,60	42,965	
7	50,000	15,000	15,000	29,053	0,80	42,750	43,112
8	50,000	15,000	15,080	28,965	0,80	43,143	
9	50,000	15,000	15,000	28,647	0,80	43,443	
10	50,000	15,000	15,000	28,985	1,00	43,962	44,115
11	50,000	15,000	14,998	28,678	1,00	44,162	
12	50,000	15,000	15,000	27,972	1,00	44,221	
13	50,000	15,000	15,000	27,725	1,20	44,645	44,843
14	50,000	15,000	15,000	27,740	1,20	44,819	
15	50,000	15,000	15,000	27,625	1,20	45,065	

Figura 3.61. Resultado de las pruebas de rotura a flexo-tracción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.52. Tabla de los resultados de vigas ultradelgadas con fibras metálicas

	Datos de las vigas				Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Peso (kg)			
1	50,000	15,000	6,10	12,173	Convencional	36,410	36,652
2	50,000	15,000	6,00	12,135	Convencional	36,599	
3	50,000	15,000	6,00	12,079	Convencional	36,947	
4	50,000	15,000	6,00	12,115	0,60	40,140	40,535
5	50,000	15,000	5,90	11,130	0,60	40,319	
6	50,000	15,000	6,00	12,007	0,60	41,145	
7	50,000	15,000	6,00	11,432	0,80	41,750	42,214
8	50,000	15,000	6,00	11,811	0,80	42,750	
9	50,000	15,000	6,10	11,896	0,80	42,143	
10	50,000	15,000	6,00	11,344	1,00	41,951	42,578
11	50,000	15,000	6,00	11,253	1,00	42,920	
12	50,000	15,000	6,00	11,272	1,00	42,862	
13	50,000	15,000	6,10	11,287	1,20	42,615	43,328
14	50,000	15,000	6,00	10,987	1,20	43,725	
15	50,000	15,000	6,00	11,660	1,20	43,645	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.62. Resultado de las pruebas de rotura a flexo-tracción



Fuente: Elaboración propia

3.12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.12.1. Análisis de la caracterización de los agregados pétreos

Para la caracterización de los áridos que componen el hormigón usado para las probetas se siguió la norma de rangos de la norma ASTM C-33 para hacer la comparación respectiva.

Tabla 3.53. Norma de rangos de la norma ASTM C-33

Ensayo	Unidades	Máx.	Mín.
Tamaño máximo de la grava	mm	38,00	-
Tamaño máximo de la arena	mm	9,51	-
Módulo de finura de la arena	-	3,10	2,30
Peso específico de arena y grava	gr/cm ³	2,90	2,40
Peso volumétrico arena y grava	kg/m ³	1760,00	1200,00
Desgaste de Los Ángeles	%	> 40	-

Fuente: Norma ASTM C-33

Tabla 3.54. Requisitos de granulometría para los agregados pétreos (ASTM C-33)

N° de Tam.	Tamaño nominal de los tamices	Cantidades más finas que pasan por un tamiz (abertura cuadrada) en porcentaje en masa										
		100,0 mm	90 mm	75,0 mm	63,0 mm	50,0 mm	37,5 mm	25 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm
		(4")	(3 1/2")	(3")	(2 1/2")	(2")	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)
1	90 a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5			
2	63 a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5			
3	50 a 25,0 mm (2 a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5		
357	50 a 4,75 mm (2" a N°4)				100	95 a 100		35 a 70				0 a 5
4	37,5 a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4")					100	90 a 100	20 a 5	0 a 15		0 a 5	
467	37,5 a 4,75 mm (1 1/2 a N°4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	
5	25,0 a 9,5 mm (1 a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	
56	25,0 a 4,75 mm (1 a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5
57	25,0 a 4,75 mm (1 plg a N°4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10
6	19,0 a 9 mm (3/4 a 3/8 plg)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5
67	19,0 a 4,75 mm (3/4" a N°4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10
7	12,5 a 4,75 mm (1/2" a N°4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15

Fuente: Norma ASTM C-33

Mediante estas tablas de la norma ASTM se hizo la comparación para los áridos del banco de material de Villa Montes y pudimos verificar que el mismo cumple las condiciones de construcción para pavimentos rígidos.

Para la construcción de pavimentos rígidos, la granulometría de la arena y la grava se encuentran dentro de los rangos establecidos por esta norma lo que nos hace concluir que los agregados tendrán un buen acomodo dentro de los moldes, evitando así espacios vacíos que puedan ser perjudiciales para el hormigón. El inconveniente con este material es que se hallaba rodeado con material arcilloso que podría ser perjudicial para el hormigón.

3.12.2. Análisis de los ensayos a compresión y flexo-tracción de probetas cilíndricas y vigas

Para los ensayos se procedió a la rotura de 30 muestras de probetas cilíndricas, 30 vigas estándar y 30 vigas ultradelgadas. A continuación se muestran los resultados:

Tabla 3.55. Resultados de las pruebas de rotura a compresión

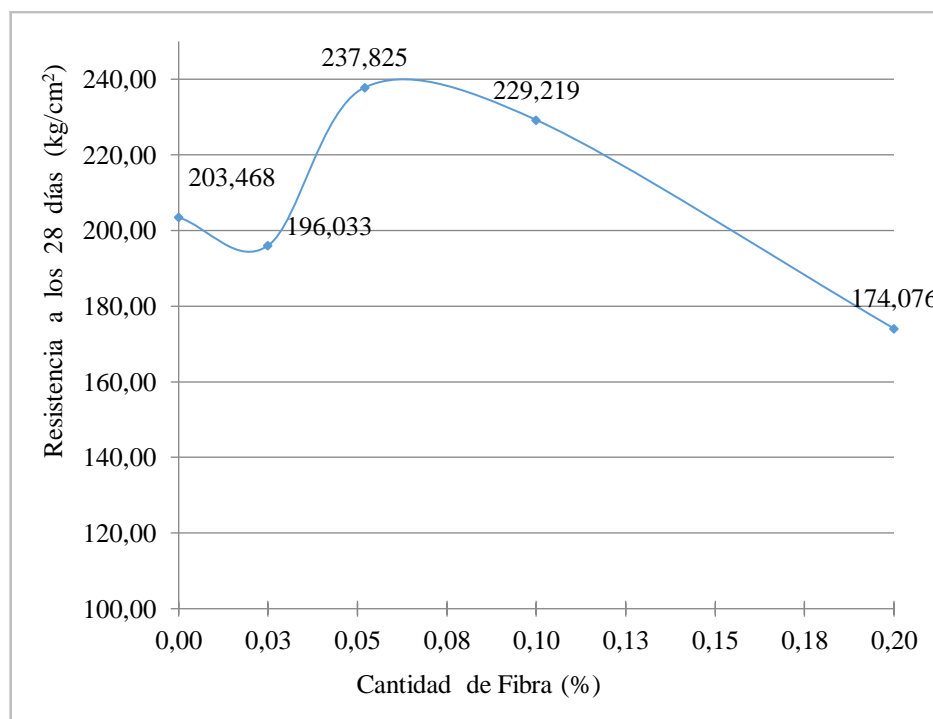
Probetas cilíndricas con fibras sintéticas			
	Cantidad de fibra en 1 probeta (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
1	Convencional	184,180	203,468
2	Convencional	188,208	
3	Convencional	238,018	
4	0,025	187,357	196,033
5	0,025	196,857	
6	0,025	203,886	
7	0,052	214,995	237,825
8	0,052	233,276	
9	0,052	265,203	
10	0,100	189,250	229,219
11	0,100	233,693	
12	0,100	264,713	
13	0,200	163,665	174,076
14	0,200	173,485	
15	0,200	185,078	

Fuente: Elaboración propia

En la 3.55 se muestran los resultados de la prueba a compresión a los 28 días de edad, se construyeron 15 probetas de las cuales 3 fueron de hormigón convencional y 9 con diferentes porcentajes de fibra sintéticas (como observamos en la tabla ya mencionada).

Según la norma ASTM C-39 la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto esta entre 190 kg/cm^2 a 350 kg/cm^2 , lo que nos hace concluir que 8 de 15 especímenes estudiados se encuentran dentro de este rango, aunque los resultados no son del todo satisfactorios, ya que el hormigón con fibras sintéticas arrojó resultados bajos, con lo que podemos decir que esta mezcla no trabaja de manera satisfactoria a compresión.

Figura 3.63. Resistencia a compresión a los 28 días kg/cm^2



Fuente: Elaboración propia

Descripción: Se puede observar en el gráfico de 28 días, la resistencia sube inicialmente cada vez que se adiciona una proporción más de fibra y vuelve a bajar cuando la proporción de fibra va en aumento esto puede ser por varias razones que serán analizadas en las conclusiones, siendo $237,825 \text{ kg/cm}^2$ la resistencia a compresión promedio más alta obtenida con proporción 0,052% de fibra.

Tabla 3.56. Resultados de las pruebas de rotura compresión

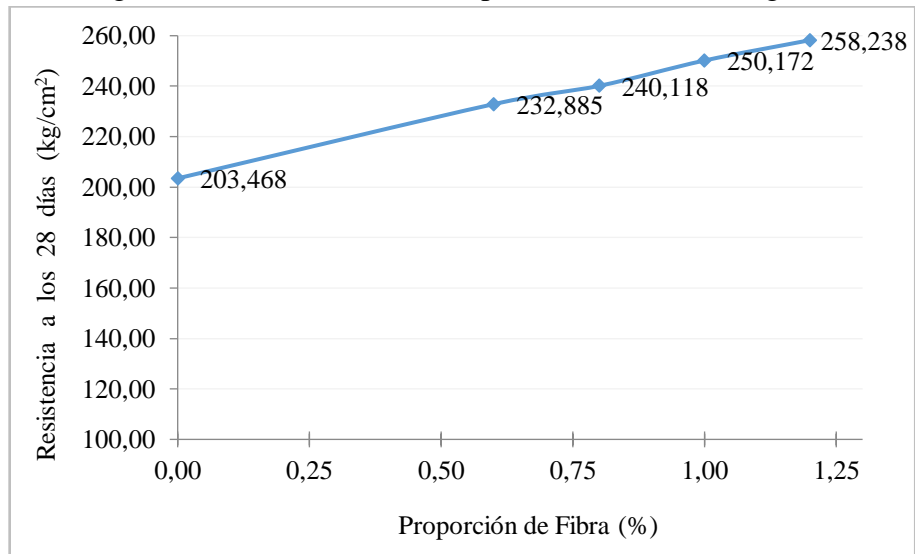
Probetas cilíndricas con fibras metálicas			
	Cantidad de fibra en 1 probeta (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
1	Convencional	184,180	203,468
2	Convencional	188,208	
3	Convencional	238,018	
4	0,60	220,250	232,885
5	0,60	233,693	
6	0,60	244,713	
7	0,80	235,130	240,118
8	0,80	239,208	
9	0,80	246,018	
10	1,00	248,728	250,172
11	1,00	250,639	
12	1,00	251,150	
13	1,20	255,450	258,238
14	1,20	259,485	
15	1,20	259,779	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.56 se muestran los resultados de la prueba a compresión a los 28 días de edad, se construyeron 15 probetas de las cuales 3 fueron de hormigón convencional y 9 con diferentes porcentajes de fibra metálicas (como observamos en la tabla ya mencionada).

Según la norma ASTM C-39 la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto esta entre 190 kg/cm² a 350 kg/cm², entonces de las 15 probetas 2 no entraron en este rango, esto puede ser por diferentes razones que serán descritas en las conclusiones.

Figura 3.64. Resistencia a compresión a los 28 días kg/cm^2



Fuente: Elaboración propia

Descripción: Se puede observar en el gráfico, la resistencia sube cada vez que se adiciona una proporción más de fibra metálica, aunque debe existir un punto donde esta resistencia deberá bajar por el exceso de fibra, siendo 258,238 kg/cm^2 la resistencia a compresión promedio más alta obtenida con proporción 1,2% de fibra.

Tabla 3.57. Resultados de las pruebas de rotura compresión

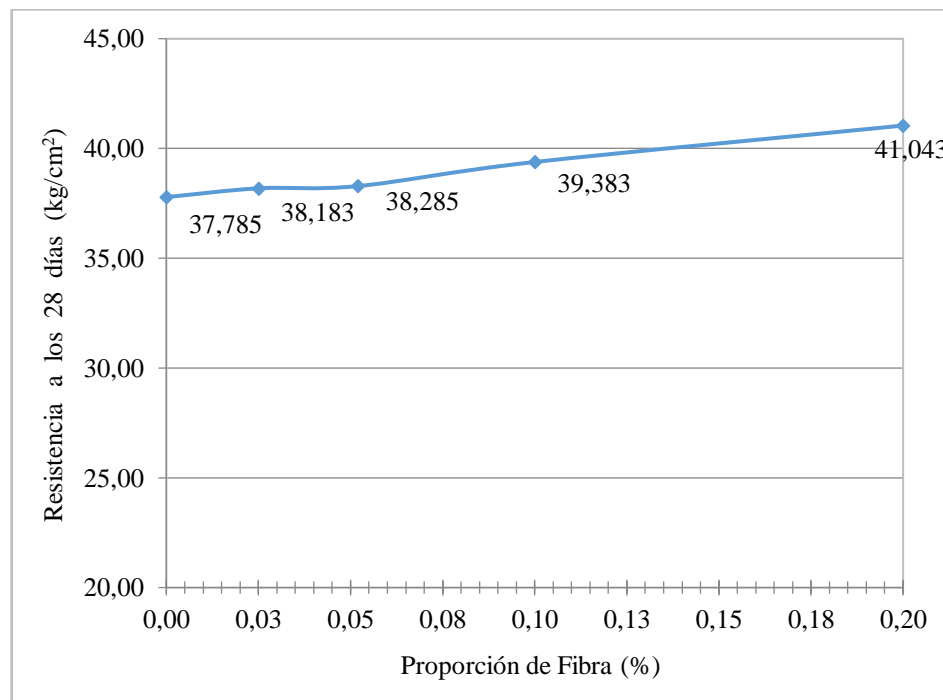
Vigas estándar con fibras sintéticas			
	Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm^2)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm^2)
1	Convencional	36,910	37,785
2	Convencional	37,499	
3	Convencional	38,947	
4	0,025	37,657	38,183
5	0,025	37,750	
6	0,025	39,143	
7	0,052	37,710	38,285
8	0,052	38,499	
9	0,052	38,647	
10	0,100	38,562	39,383
11	0,100	39,162	
12	0,100	40,424	
13	0,200	40,345	41,043
14	0,200	40,819	
15	0,200	41,965	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.57 se muestran los resultados de la prueba a flexo-tracción a los 28 días de edad, se construyeron 15 vigas de las cuales 3 fueron de hormigón convencional y 9 con diferentes porcentajes de fibra sintéticas, según la norma ASTM C-78 la resistencia a flexión de especímenes prismáticos de concreto esta entre 35 kg/cm² a 45 kg/cm², lo que nos hace concluir que los 15 especímenes estudiados se encuentran dentro de este rango.

Estos resultados no son del todo convencionales porque con la ayuda de las fibras la resistencia tendría q haber sido un poco más.

Figura 3.65. Resistencia a compresión a los 28 días kg/cm²



Fuente: Elaboración propia

Descripción: Se puede observar en el gráfico, la resistencia sube cada vez que se adiciona una proporción más de fibras sintéticas, aunque la resistencia aumenta cada vez menos respecto al anterior, siendo 41,043 kg/cm² la resistencia a compresión promedio más alta obtenida con proporción 0,2% de fibra.

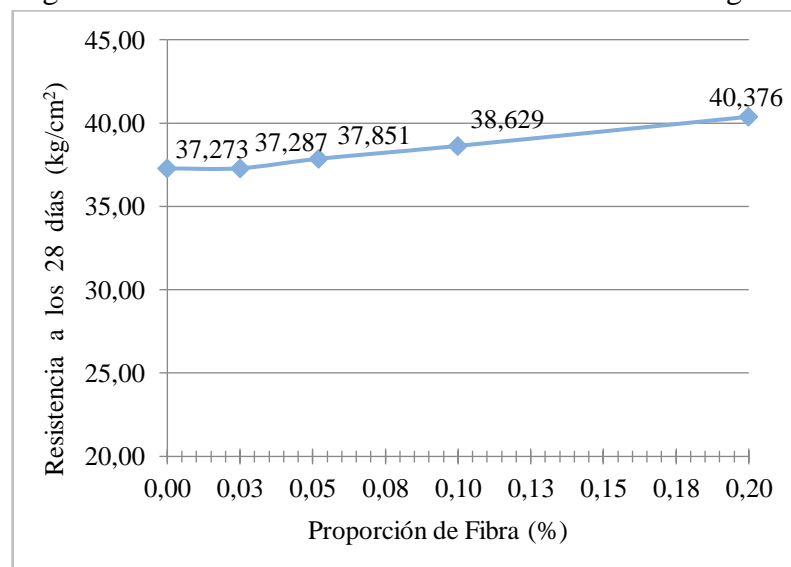
Tabla 3.58. Resultados de las pruebas de rotura a flexo-tracción

Vigas ultradelgadas con fibras sintéticas			
	Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
1	Convencional	37,710	37,273
2	Convencional	36,853	
3	Convencional	37,257	
4	0,025	36,853	37,287
5	0,025	37,257	
6	0,025	37,750	
7	0,052	37,261	37,851
8	0,052	37,150	
9	0,052	39,143	
10	0,100	38,562	38,629
11	0,100	39,162	
12	0,100	38,162	
13	0,200	39,345	40,376
14	0,200	40,819	
15	0,200	40,965	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.58 se muestran los resultados de la prueba a flexo-tracción a los 28 días de edad, la situación de esta resistencia es similar a las vigas estándar, aunque estas vigas ultradelgadas tienen una disminución en su resistencia, esto puede ser por la disminución en su altura.

Figura 3.66. Resistencia a flexo-tracción a los 28 días kg/cm²



Fuente: Elaboración propia

Descripción: Se puede observar en el gráfico, la resistencia sube cada vez que se adiciona una proporción más de fibra sintéticas, aunque la resistencia aumenta cada vez menos respecto al anterior resultado, siendo 40,376 kg/cm² la resistencia a compresión promedio más alta obtenida con proporción 0,2% de fibra.

Tabla 3.59. Resultados de las pruebas de rotura a flexo-tracción

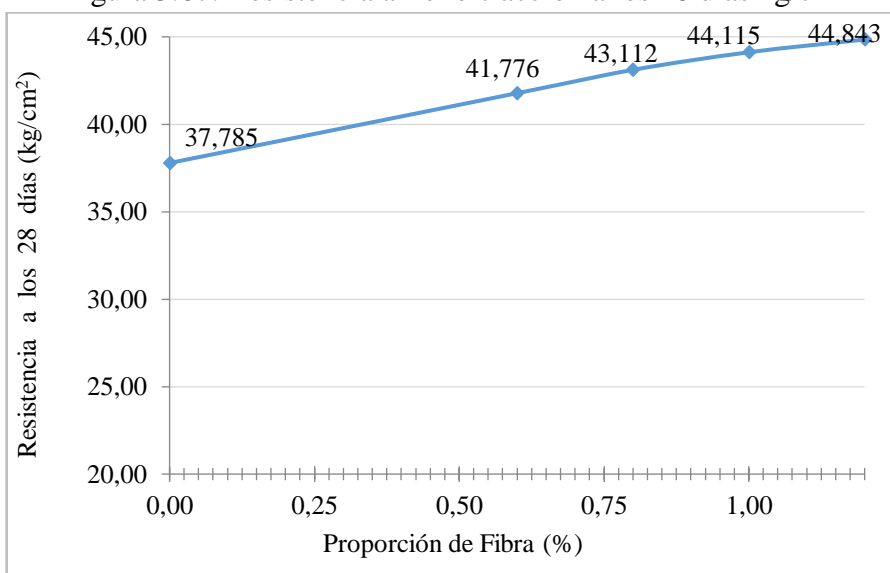
Vigas estándar con fibras metálicas			
	Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
1	Convencional	36,910	37,785
2	Convencional	37,499	
3	Convencional	38,947	
4	0,60	41,045	41,776
5	0,60	41,319	
6	0,60	42,965	
7	0,80	42,750	43,112
8	0,80	43,143	
9	0,80	43,443	
10	1,00	43,962	44,115
11	1,00	44,162	
12	1,00	44,221	
13	1,20	44,645	44,843
14	1,20	44,819	
15	1,20	45,065	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.59 se muestran los resultados de la prueba a flexo-tracción a los 28 días de edad, se construyeron 15 vigas de las cuales 3 fueron de hormigón convencional y 9 con diferentes porcentajes de fibra metálicas (como observamos en la tabla ya mencionada).

Según la norma ASTM C-78 la resistencia a flexo-tracción de especímenes prismáticos de concreto esta entre 35 kg/cm² a 45 kg/cm², lo que nos hace concluir que los 15 especímenes estudiados se encuentran dentro de este rango.

Figura 3.67. Resistencia a flexo-tracción a los 28 días kg/cm^2



Fuente: Elaboración propia

Descripción: Se puede observar en el gráfico, la resistencia sube cada vez que se adiciona una proporción más de fibra metálica, aunque la resistencia aumenta cada vez menos respecto al anterior resultado, siendo 44,843 kg/cm^2 la resistencia a compresión promedio más alta obtenida con proporción 1,2% de fibra.

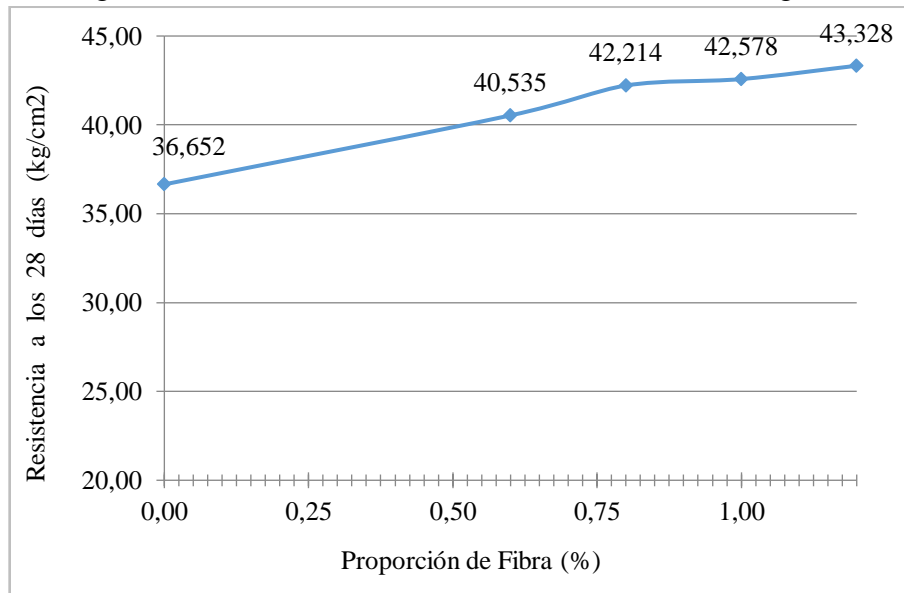
Tabla 3. 60. Resultados de las pruebas de rotura a flexo-tracción

Vigas ultradelgadas con fibras metálicas			
	Cantidad de fibra en 1 viga (%)	Resistencia a los 28 días (kg/cm^2)	Promedio resistencia a los 28 días (kg/cm^2)
1	Convencional	36,410	36,652
2	Convencional	36,599	
3	Convencional	36,947	
4	0,60	40,140	40,535
5	0,60	40,319	
6	0,60	41,145	
7	0,80	41,750	42,214
8	0,80	42,750	
9	0,80	42,143	
10	1,00	41,951	42,578
11	1,00	42,920	
12	1,00	42,862	
13	1,20	42,615	43,328
14	1,20	43,725	
15	1,20	43,645	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.60 se muestran los resultados de la prueba a flexo-tracción a los 28 días de edad, la situación de estas resistencias es similar a las vigas estándar, aunque estas vigas ultradelgadas tienen una disminución en su resistencia, esto puede ser por la disminución en su altura.

Figura 3.68. Resistencia a flexo-tracción a los 28 días kg/cm^2



Fuente: Elaboración propia

Descripción: Se puede observar en la gráfica que la resistencia aumenta cada vez que se adiciona una proporción más de fibra, siendo así la cantidad promedio de la resistencia a flexión-tracción obtenida $43,328 \text{ kg/cm}^2$ con una proporción de 1,2 gr la más elevada.

3.13. PRECIOS UNITARIOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO (1M^2 DE HORMIGÓN)

En primer lugar, para obtener los precios unitarios debemos calcular la cantidad de arena y grava en metros cúbicos que se necesitaran, ya que en el mercado estos materiales se comercializan en esta unidad de medida.

Calcular un hormigón estructural con dosificación: 1:1,57:3,27.

En las tablas de precios unitarios, se muestran el cálculo que realizo para 1m^2 de pavimento por el espesor encontrado en los cálculos de espesores con los programas AASHTO 93 y PCA, estos son: 8,5; 9 y 10 cm. Se dividió el cálculo según su espesor,

existiendo 3 tablas por cada espesor, una con hormigón convencional y otras dos con los dos tipos de fibras.

Para las cantidades correspondientes para cada tabla se tomaron los pesos del cemento, grava y arena obtenidos en el laboratorio para 1m³ de hormigón; para que con una relación de pesos y volúmenes se puedan calcular los pesos en kilogramos de cada uno de los materiales que componen el hormigón.

Para una dosificación: 1:1,57:3,27 con e = 8,5cm

Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio:

Cemento = 396,55 kg

Arena = 621,67 kg

Grava = 1298,58 kg

$$V = \frac{W}{\gamma}$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{621,67 \text{ kg}}{1590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,396\text{m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{621,67 \text{ kg}}{1590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,396\text{m}^3$$

Relación para encontrar las cantidades a usar para los precios unitarios

Volumen para el análisis de costo = 1 m x 1 m x 0,085 m = 0,085 m³

1m ³ → 396,55 kg	}	X = 33,707 kg de cemento
0,085 m ³ → X		
1m ³ → 0,396 m ³	}	X = 0,034 m ³ de arena
0,085 m ³ → X		
1m ³ → 0,747 m ³	}	X = 0,063 m ³ de grava
0,085 m ³ → X		
1m ³ → 0,6 kg	}	X = 0,051 kg de fibra sintética
0,085 m ³ → X		
1m ³ → 15 kg	}	X = 1,275 kg de fibra metálica
0,085 m ³ → X		

Tabla 3.61. Precios unitarios carpeta de hormigón convencional e = 8,5cm

Actividad	Carpeta de hormigón convencional para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 8,5cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	33,707	1	33,71
2	Arena	m3	0,034	120	4,08
3	Grava triturada	m3	0,063	160	10,08
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,090	7	0,63
	Total materiales				48,89
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,5	20	10,00
2	Ayudante	hr	1	15	15,00
4	Encofrador	hr	1	15	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,80
	Impuesto al Valor Agregado (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer	hr	1	25	25,00
2	Vibradora	hr	1	20	20,00
3	Regla niveladora	hr	1	90	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				26,07
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				28,67
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				9,75
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				325,15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.62. Precios unitarios carpeta de hormigón con fibra sintética e = 8,5cm

Actividad	Carpeta de hormigón con fibra sintética FibroMac para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 8,5 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	33,707	1,00	33,71
2	Arena	m3	0,034	120,00	4,08
3	Grava triturada	m3	0,063	160,00	10,08
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,50	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,090	7,00	0,63
6	Fibra sintética FibroMac	kg	0,051	66,67	3,40
	Total materiales				52,29
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,50	20,00	10,00
2	Ayudante	hr	1,00	15,00	15,00
3	Encofrador	hr	1,00	15,00	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,80
	IVA (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer		1,00	25,00	25,00
2	Vibradora		1,00	20,00	20,00
3	Regla niveladora		1,00	90,00	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				26,41
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				29,05
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				9,87
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				329,39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.63. Precios unitarios carpeta de hormigón con fibra metálica e = 8,5cm

Actividad	Carpeta de hormigón con fibra metálica Wirand para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 8,5 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ³				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	33,707	1	33,71
2	Arena	m3	0,034	120	4,08
3	Grava triturada	m3	0,063	160	10,08
4	Hierro corrugado	kg	0,06	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,09	7	0,63
6	Fibra metálica Wirand	kg	1,275	10,67	13,60
	Total materiales				62,49
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,5	20	10
2	Ayudante	hr	1	15	15,00
4	Encofrador	hr	1	15	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,8
	IVA (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer		1	25	25,00
2	Vibradora		1	20	20,00
3	Regla niveladora		1	90	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				27,43
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				30,17
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				10,25
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				342,12

Fuente: Elaboración propia

Para una dosificación: 1:1,57:3,27 con e = 9cm

Cemento = 396,55 kg

Arena = 621,67 kg

Grava = 1298,58 kg

$$V = \frac{W}{\gamma}$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{621,67 \text{ kg}}{1590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,396 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{621,67 \text{ kg}}{1590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,396 \text{ m}^3$$

Relación para encontrar las cantidades a usar para los precios unitarios

Volumen para el análisis de costo = 1 m x 1 m x 0,09 m = 0,09 m³

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 396,55 \text{ kg} \\ 0,09 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 35,690 \text{ kg de cemento}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 0,396 \text{ m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 0,036 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 0,747 \text{ m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 0,067 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 0,6 \text{ kg} \\ 0,09 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 0,054 \text{ kg de fibra sintética}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 15 \text{ kg} \\ 0,09 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,09 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 1,350 \text{ kg de fibra metálica}$$

Tabla 3.64. Precios unitarios carpeta de hormigón convencional e = 9 cm

Actividad	Carpeta de hormigón convencional para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 9 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Cemento Portland	kg	35,690	1	35,69
2	Arena	m3	0,036	120	4,32
3	Grava triturada	m3	0,067	160	10,72
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,090	7	0,63
	Total materiales				51,75
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,5	20	10,00
2	Ayudante	hr	1	15	15,00
4	Encofrador	hr	1	15	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,80
	Impuesto al Valor Agregado (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer	hr	1	25	25,00
2	Vibradora	hr	1	20	20,00
3	Regla niveladora	hr	1	90	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				26,35
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				28,99
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				9,85
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				328,72

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.65. Precios unitarios carpeta de hormigón con fibra sintética e = 9 cm

Actividad	Carpeta de hormigón con fibra sintética FibroMac para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 9 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	35,690	1,00	35,69
2	Arena	m3	0,036	120,00	4,32
3	Grava triturada	m3	0,067	160,00	10,72
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,50	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,090	7,00	0,63
6	Fibra sintética FibroMac	kg	0,054	66,67	3,60
	Total materiales				55,35
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1,00	Albañil	hr	0,50	20,00	10,00
2,00	Ayudante	hr	1,00	15,00	15,00
4,00	Encofrador	hr	1,00	15,00	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,80
	Impuesto al Valor Agregado (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1,00	Mixer		1,00	25,00	25,00
2,00	Vibradora		1,00	20,00	20,00
3,00	Regla niveladora		1,00	90,00	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				26,71
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				29,38
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				9,99
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				333,22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.66. Precios unitarios carpeta de hormigón con fibra metálica e = 9 cm

Actividad	Carpeta de hormigón con fibra metálica Wirand para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 9 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ³				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	35,69	1	35,69
2	Arena	m3	0,036	120	4,32
3	Grava triturada	m3	0,067	160	10,72
4	Hierro corrugado	kg	0,06	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,09	7	0,63
6	Fibra metálica Wirand	kg	1,35	10,67	14,40
	Total materiales				66,15
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,5	20	10
2	Ayudante	hr	1	15	15,00
4	Encofrador	hr	1	15	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,8
	IVA (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer		1	25	25,00
2	Vibradora		1	20	20,00
3	Regla niveladora		1	90	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				27,79
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				30,57
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				10,39
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				346,69

Fuente: Elaboración propia

Para una dosificación: 1:1,57:3,27 con e = 10cm

Cemento = 396,55 kg

Arena = 621,67 kg

Grava = 1298,58 kg

$$V = \frac{W}{\gamma}$$
$$V_{\text{arena}} = \frac{621,67 \text{ kg}}{1590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,396 \text{ m}^3$$
$$V_{\text{arena}} = \frac{621,67 \text{ kg}}{1590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,396 \text{ m}^3$$

Relación para encontrar las cantidades a usar para los precios unitarios

Volumen para el análisis de costo = 1 m x 1 m x 0,1 m = 0,1 m³

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 396,55 \text{ kg} \\ 0,1 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 39,655 \text{ kg de cemento}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 0,396 \text{ m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 0,0396 \text{ m}^3 \text{ de arena}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 0,747 \text{ m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 0,0747 \text{ m}^3 \text{ de grava}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 0,6 \text{ kg} \\ 0,1 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 0,06 \text{ kg de fibra sintética}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \longrightarrow 15 \text{ kg} \\ 0,1 \text{ m}^3 \longrightarrow X \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \\ 0,1 \text{ m}^3 \end{array}} \right\} X = 1,5 \text{ kg de fibra metálica}$$

Tabla 3.67. Precios unitarios carpeta de hormigón convencional e = 10 cm

Actividad	Carpeta de hormigón convencional para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 10 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Cemento Portland	kg	39,655	1	39,66
2	Arena	m3	0,040	120	4,75
3	Grava triturada	m3	0,075	160	11,95
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,090	7	0,63
	Total materiales				57,38
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,5	20	10,00
2	Ayudante	hr	1	15	15,00
4	Encofrador	hr	1	15	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,80
	Impuesto al Valor Agregado (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer	hr	1	25	25,00
2	Vibradora	hr	1	20	20,00
3	Regla niveladora	hr	1	90	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				26,92
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				29,61
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				10,06
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				335,75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.68. Precios unitarios carpeta de hormigón con fibra sintética e = 10 cm

Actividad	Carpeta de hormigón con fibra sintética FibroMac para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 10 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	39,655	1,00	39,66
2	Arena	m3	0,040	120,00	4,75
3	Grava triturada	m3	0,075	160,00	11,95
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,50	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,090	7,00	0,63
6	Fibra sintética FibroMac	kg	0,060	66,67	4,00
	Total materiales				61,38
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1,00	Albañil	hr	0,50	20,00	10,00
2,00	Ayudante	hr	1,00	15,00	15,00
4,00	Encofrador	hr	1,00	15,00	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,80
	IVA (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1,00	Mixer		1,00	25,00	25,00
2,00	Vibradora		1,00	20,00	20,00
3,00	Regla niveladora		1,00	90,00	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				27,32
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				30,05
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				10,21
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				340,74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.69. Precios unitarios carpeta de hormigón con fibra metálica e = 10 cm

Actividad	Carpeta de hormigón con fibra metálica Wirand para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 10 cm Dosificación: 1:1,57:3,27				
Unidad	m ³				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs)
1	Cemento Portland	kg	39,655	1	39,66
2	Arena	m3	0,0396	120	4,75
3	Grava triturada	m3	0,0747	160	11,95
4	Hierro corrugado	kg	0,06	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p2	0,09	7	0,63
6	Fibra metálica Wirand	kg	1,5	10,67	16,01
	Total materiales				73,38
b	Mano de obra				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Albañil	hr	0,5	20	10
2	Ayudante	hr	1	15	15,00
4	Encofrador	hr	1	15	15,00
	Subtotal mano de obra				40,00
	Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)				26,8
	IVA (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)				9,98
	Total mano de obra				76,78
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
1	Mixer		1	25	25,00
2	Vibradora		1	20	20,00
3	Regla niveladora		1	90	90,00
	Herramientas menores 5% de la mano de obra				3,84
	Total herramientas, maquinaria y equipo				135,00
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				28,52
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				31,37
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				10,66
	Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				355,71

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.70. Precios unitarios de la junta transversal

Activid.	Junta transversal L = 35cm, e = 30cm				
Unidad	m				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
N°	Insumos/descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Acero liso D=1" más canastillo	kg	6,400	3,45	22,080
2	Clavos	kg	0,100	5,70	0,570
3	Soldadura	kg	0,140	7,00	0,980
4	grasa	kg	0,100	20,40	2,040
5	Pintura	gl	0,005	180,90	0,905
Total materiales					26,575
b	Mano de obra				
N°	Insumos/descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Maestro	hrs	0,010	20,50	0,205
2	Ayudante	hrs	0,020	13,50	0,270
3	Chofer	hrs	0,001	20,00	0,020
Subtotal mano de obra					0,495
Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)					0,332
Impuesto al Valor Agregado (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)					0,124
Total mano de obra					0,950
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
N°	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Moto soldador	hrs	0,001	7,700	0,008
2	Camioneta	hrs	0,001	120,400	0,120
Herramientas menores 5% de la mano de obra					0,048
Total herramientas, maquinaria y equipo					0,128
d	Gastos generales y administrativos				
Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)					2,77
e	Utilidad				
Utilidad (10 % de a+b+c+d)					3,04
f	Impuestos				
Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)					1,03
Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)					34,49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.71. Precios unitarios de corte y sellado de juntas

Activid.	Corte y sellado de juntas				
Unidad	m				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
N°	Insumos/descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Asfalto	kg	0,280	4,62	1,29
2	Backer Rod	m	1,020	2,10	2,14
3	Disco para corte (350 mm)	Pza	0,002	3000,00	6,00
Total materiales					9,44
b	Mano de obra				
N°	Insumos/descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Maestro	hrs	0,04	8,50	0,34
2	Ayudante	hrs	0,12	6,86	0,82
3	Operador de equipo	hrs	0,04	13,60	0,54
Subtotal mano de obra					1,71
Cargas sociales (67 % del subtotal de la mano de obra)					1,14
Impuesto al Valor Agregado (14,94 % del subtotal de la mano de obra + cargas sociales)					0,43
Total mano de obra					3,28
c	Herramientas, maquinaria y equipo				
N°	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Motosoldador	hrs	0,004	7,70	0,03
2	Equipo electrógeno	hrs	0,004	120,40	0,48
Herramientas menores 5% de la mano de obra					0,16
Total herramientas, maquinaria y equipo					0,51
d	Gastos generales y administrativos				
Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)					1,32
e	Utilidad				
Utilidad (10 % de a+b+c+d)					1,45
f	Impuestos				
Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)					0,49
Total precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)					16,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.72. Tabla resumen de los resultados de los precios unitarios

Tipo de pavimento rígido	Espesor de la losa (cm)	Total precio unitario (Bs)
Convencional	8,5	325,15
Con fibras sintéticas	8,5	329,39
Con fibras metálicas	8,5	342,12
Convencional	9	328,72
Con fibras sintéticas	9	333,22
Con fibras metálicas	9	346,69
Convencional	10	335,75
Con fibras sintéticas	10	340,74
Con fibras metálicas	10	355,71

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación, se han cumplido los objetivos que se plantearon, ya que se logró cumplir con lo propuesto como son las pruebas de resistencia a compresión y flexo-tracción del hormigón convencional y adicionado con fibras sintéticas y metálicas.
- Se determinó que la implementación de fibras al hormigón influyó de manera satisfactoria cuando se trata de resistencias a flexo-tracción, en especial las fibras metálicas, aunque su resistencia a compresión no cumplió del todo como se esperaba. Cabe resaltar que la resistencia que más exige un pavimento es la de flexión.
- Se realizó el diseño de mezcla por el método del ACI-211, obteniendo una dosificación de cemento:1 arena:1,57 grava: 3,27 de proporción para el diseño de mezcla se realizaron también los ensayos respectivos para este caso.
- Se construyeron vigas con espesores de 6 cm con el propósito de ver el comportamiento de esta viga ante las cargas de flexo-tracción teniendo este espesor menor a 15 cm, así también comparar el costo de material y el trabajo que conlleva su elaboración.
- Respecto a los porcentajes óptimos de las fibras, se pudo observar que para las fibras sintéticas con un porcentaje de 0,2 % tiene un mejor resultado para la resistencia a flexo-tracción con 40,376 kg/cm² para vigas con 6cm de altura, y para las fibras metálicas con un porcentaje de 1,2 % se tiene un mejor resultado para la resistencia a flexo-tracción con 43,328 kg/cm² para vigas con 6cm de altura.
- Los resultados obtenidos del ensayo de compresión, elaborados a un concreto con resistencia de 320 kg/cm², la resistencia disminuyó trabajando con proporciones de 0,2 gr, siendo esta muy elevada ya que la fibra tiene un peso específico muy bajo de 0,92 gr/cm³ aproximadamente dañando su resistencia a la compresión. Con respecto a la

resistencia permisible el concreto con adición no pasó del 100% a los 28 días siendo esta la edad en donde el concreto alcanza su mayor resistencia, alcanzado solo un 72% de la resistencia del hormigón a compresión, para las fibras metálicas otro fue el resultado ya que las resistencias aumentaron en vez de disminuir. Al igual Muñoz Cebrián Fernando con el título en sus tesis “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de polipropileno multifilamento: Influencia del porcentaje de fibra adicionado” se puede constatar que la resistencia tiene una disminución de 44,44% con respecto al concreto patrón, trabajando con un cemento tipo I, en esta tesis se obtuvo una disminución de promedio máxima de 18,71% adicionando según su volumen de cemento, en ambos se generó un concreto liviano con un aumento de vacíos siendo este perjudicial en la resistencia a la compresión.

- Entre las posibles causas de que el hormigón haya tenido este comportamiento ante la resistencia de compresión están las fallas humanas, puesto que para la adición de las fibras se debe tener mucho en cuenta una correcta adición de estas, ya que puede existir una mala distribución de las mismas, haciendo que se formen los llamados nidos que es la acumulación de fibra en áreas específicas de concreto, haciendo débil al hormigón en estas zonas.
- Los resultados obtenidos del ensayo de flexo-tracción, elaborados a un concreto con resistencia asumida de tablas de 45 kg/cm^2 , en el cual adicionamos fibras sintéticas y metálicas con respecto al peso del hormigón, mientras se fueron aumentando la resistencia tiende a subir más al aumentar también la dosis de fibra aunque hay que resaltar que el aumento de resistencia es cada vez más bajo al anterior lo que hace suponer que en algún punto la adición de fibras ya no será favorable para el hormigón. Esto indica que la fibra actúa cubriendo las tensiones con su forma multilaminada las fisuras y agrietamientos que se generan en el concreto en la etapa de fraguado o endurecimiento. Con respecto a la resistencia permisible el concreto cumplió su función debido a que se acercó un 96,67% de la resistencia a los 28 días siendo esta la edad en donde el concreto alcanza su mayor resistencia de diseño.

- Lo que se puede aportar de las vigas ultradelgadas es que éstas trabajan bastante bien con la ayuda de las fibras, en especial con las metálicas ya que cuando se realizó la prueba a flexo-tracción al momento de la ruptura la viga esta se fracturó, pero no se realizó una separación completa, aunque se debe recalcar que las vigas estándar obtuvieron mejores resultados que las ultradelgadas.
- En cuanto a la aplicación de pavimentos con espesores menores a los establecidos en la AASHTO 93 donde el mínimo a usar es de 19 cm, se estableció que es posible la construcción de un pavimento de espesor igual a 8,5 cm, ya que verifica también en el programa PCA para la cantidad de tráfico promedio anual (TPDA) establecido.
- Se realizó el cálculo del espesor de los pavimentos con el programa “Método AASHTO 1993 para el diseño de pavimentos”, tomando como variables el módulo de elasticidad (E_c) y el módulo rotura (S_c) de cada una de las diferentes dosificaciones de fibras que se usó con fin de observar las diferentes variaciones en los resultados. Se comprobó que existe variación de espesores dependiendo la cantidad de fibra aplicada en los moldes.
- El módulo de rotura y el módulo de elasticidad son las variables que más influenciaron en el resultado de los espesores, ya que estos resultados estuvieron basados en la cantidad de fibra que se colocó en el hormigón fresco.
- Se pudo observar que mientras el módulo de rotura y el módulo de elasticidad va en aumento el espesor del pavimento disminuye, ya que estos factores influyen directamente en la resistencia del pavimento, el módulo de rotura representa la tensión máxima que puede soportar el material y el módulo de elasticidad la rigidez del hormigón ante la carga de los vehículos.
- Se pudo comprobar mediante los cálculos que el costo del pavimento convencional es más económico que los otros dos tipos de pavimentos adicionados con fibra, en la siguiente tabla se muestra la diferencia de costos para el pavimento convencional y los adicionados con fibras para 1 m² con sus respectivos espesores:

		Precio (Bs) espesor = 8,5 (cm)	Precio (Bs) espesor = 9 (cm)	Precio (Bs) espesor = 10 (cm)
Tipo de pavimento	Convencional	325,15	328,72	335,75
	Con fibras sintéticas	329,39	333,22	340,74
	Diferencia (Bs)	4,24	4,50	4,99

		Precio (Bs) espesor = 8,5 (cm)	Precio (Bs) espesor = 9 (cm)	Precio (Bs) espesor = 10 (cm)
Tipo de pavimento	Convencional	325,15	328,72	335,75
	Con fibras metálica	342,12	346,69	355,71
	Diferencia (Bs)	16,97	17,97	19,96

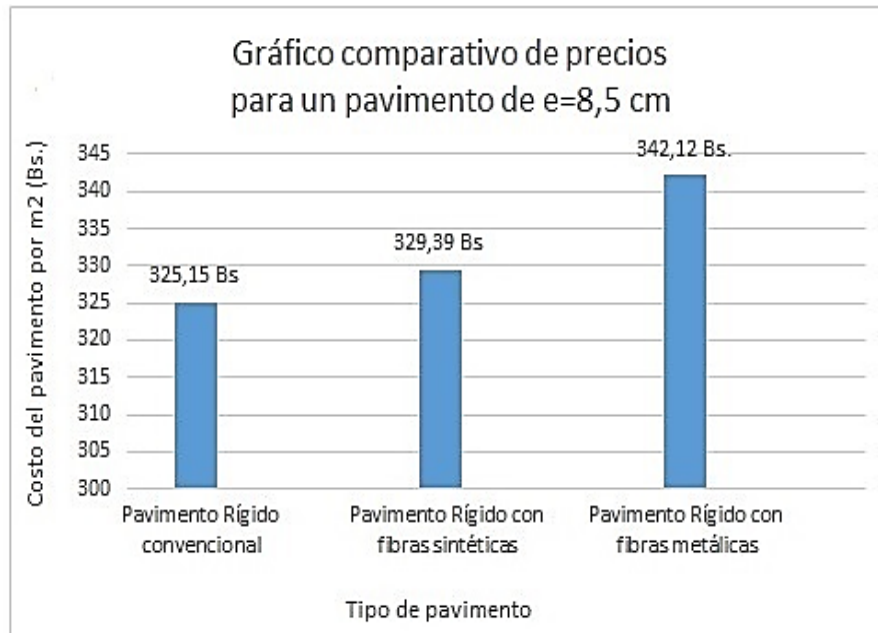
Se puede observar que la adición de fibras eleva el costo de los pavimentos, pero se debe considerar que las alturas de estos pavimentos se encuentran por debajo de los estándares, ya que si usáramos hormigón del que se usa normalmente sería más económico, pero no lograría cumplir su función por su escaso espesor.

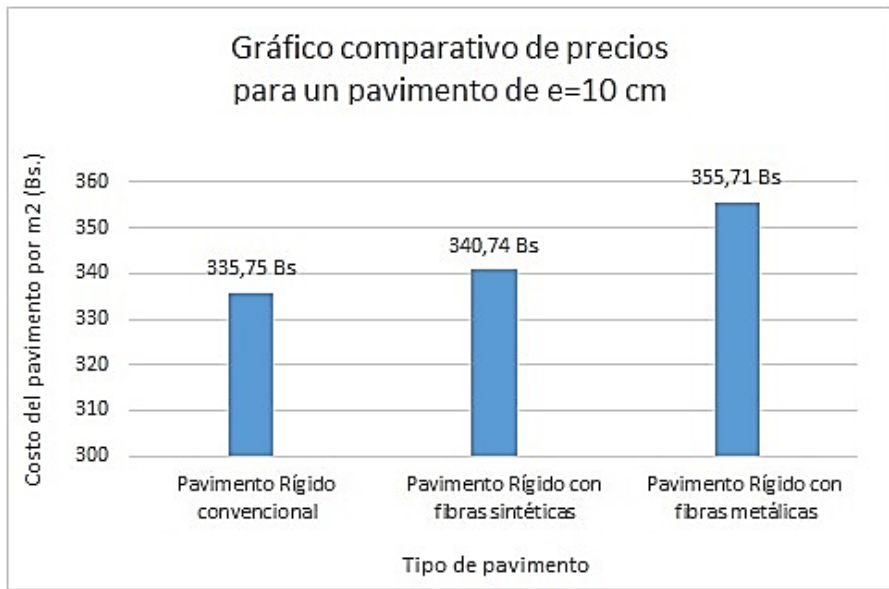
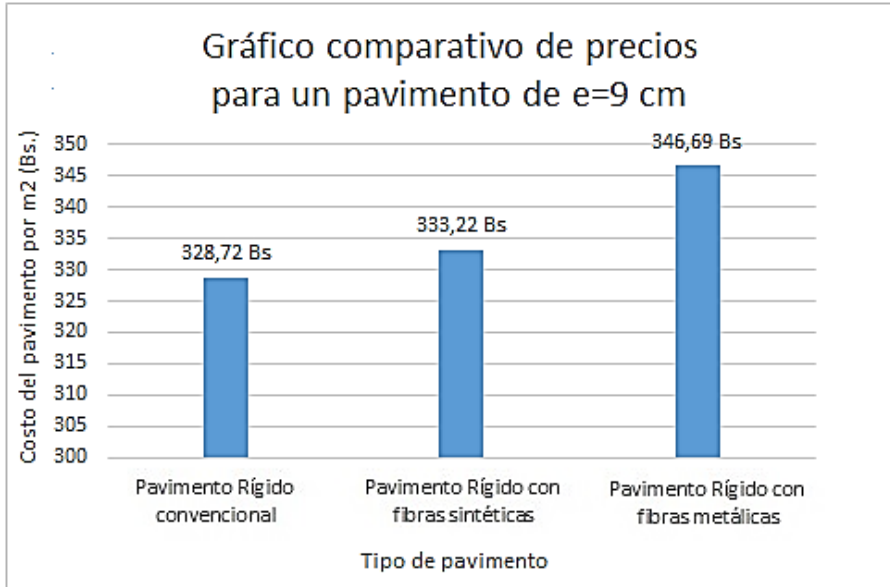
- Al realizar la comparación económica entre los pavimentos calculados con un espesor de 8,5 cm; el costo que se obtuvo del pavimento rígido convencional fue de 325,15 Bs, del pavimento con fibras sintéticas fue de 329,39 Bs y del pavimento con fibras metálicas fue de 342,12 Bs esto representa 4,24 y 16,97 Bs más por metro cuadrado de hormigón, estos son respectivamente 1,30 % y 5,22% más respecto al pavimento convencional, siendo la fibra sintética y metálica el factor que incrementa el costo.
- Con respecto al cálculo del pavimento de 9 cm de espesor; el costo que se obtuvo del pavimento rígido convencional fue de 328,72 Bs, del pavimento con fibras sintéticas fue de 333,22 Bs y del pavimento con fibras metálicas fue de 346,69 Bs esto representa 4,50 y 17,97 Bs más por metro cuadrado de hormigón, estos son respectivamente 1,37 % y 5,47% más respecto al pavimento convencional.

- Por último, se calculó con un pavimento de espesor igual a 10 cm; el costo que se obtuvo del pavimento rígido convencional fue de 335,75 Bs, del pavimento con fibras sintéticas fue de 340,74 Bs y del pavimento con fibras metálicas fue de 355,71 Bs esto representa 4,99 y 19,96 Bs más por metro cuadrado de hormigón, estos son respectivamente 1,49 % y 5,94 % más respecto al pavimento convencional.

Tipo de pavimento rígido	Espesor de la losa (cm)	Total precio unitario (Bs)
Convencional	8,5	325,15
Con fibras sintéticas	8,5	329,39
Con fibras metálicas	8,5	342,12
Convencional	9	328,72
Con fibras sintéticas	9	333,22
Con fibras metálicas	9	346,69
Convencional	10	335,75
Con fibras sintéticas	10	340,74
Con fibras metálicas	10	355,71

- Gráficas para comparar los diferentes precios de los pavimentos por metro cuadrado, mostrando distintos espesores.





4.2. RECOMENDACIONES

- La proporción de fibra sintética más recomendable a utilizar está entre 0,052% y 0,1% cuando se trata de la construcción de pavimentos rígidos, esto debido a que a más proporción de fibra mayor será el costo de la obra. Y para las fibras metálicas entre 0,8% y 1%, por las mismas razones.
- Se recomienda no abusar del porcentaje de fibras para obras como edificios o casas, esto para obtener una mejora en la propiedad de la resistencia a la compresión y tener una mejor trabajabilidad del concreto.
- En el análisis de precios se observó, que conviene el uso de fibra en estas dosificaciones ya que el precio no se eleva considerablemente con respecto al patrón. Esto en comparación de otras proporciones ya que son exageradas, haciendo que el precio de m³ de hormigón se eleve considerablemente.
- Se recomienda tener mucho en cuenta el tipo de suelo y el TPD para este tipo de pavimento ultradelgado, debido a que por su espesor no se garantiza un buen funcionamiento, no es recomendable su aplicación en zonas urbanas con mucha aglomeración, solo se recomienda su uso para conexión a pequeñas comunidades y poblaciones, así también para zonas periféricas de una ciudad.
- Para una mejor obtención de resistencias es importante la supervisión de los materiales, como por ejemplo en los agregados pétreos, en este banco se observó una gran cantidad de limos en el mismo.