

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En el medio es muy frecuente el empleo de pavimento de concreto con losas convencionales que se aplican a menudo. Que, con el paso del tiempo, se ve frecuentes deterioros como; rugosidades, baches, fisuramientos y deformaciones, etc. Haciendo que éstas no tengan transitabilidad vehicular adecuada.

Las dimensiones típicas de losas de pavimentos de hormigón son de 3,6 m de ancho por 4,5 m de longitud (AASHTO 93) con espesores de entre 15 a 35 cm, dependiendo del nivel de tráfico, el clima y los materiales. El espesor requerido depende principalmente de la carga por eje y el número de repeticiones de carga, resistencia del hormigón, la longitud de la losa, y las condiciones climáticas durante el curado (alabeo de construcción).

En Bolivia se aplica este tipo de pavimentos de concreto convencionales, que tiene ventajas como también desventajas con el pasar de los años cuando entra en funcionamiento dicha carretera o vía urbana. El dimensionamiento de pavimentos rígidos ultradelgados utilizando dimensiones de losas más pequeñas, es una alternativa de pavimento que brindará mejor comportamiento y funcionamiento.

Este tipo de aplicación de pavimentos rígido ultradelgado con losas cortas en sus dimensiones están aplicados en países como Chile, Salvador, Argentina, tanto en una vía urbana como en carreteras, tomando conceptos de ingeniería de tráfico vehicular.

Es por ello que el presente trabajo se propone realizar el dimensionamiento y analizar el espesor de un pavimento rígido ultradelgado de bajo tráfico con apoyo del software Optipave en la comunidad de Colonia Linares- Bermejo, teniendo la base y fundamento de las metodologías que se dará uso en la aplicación ya para un pavimento de concreto.

Se expondrá el desarrollado de un software de diseño mecánico-empírico llamado OptiPave, que optimiza el espesor de las losas de hormigón considerando las condiciones particulares de cada proyecto, ya sea tráfico, capa y materiales.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se observa que en el diseño de pavimentos de concreto de losas convencionales donde se ve el empleo de grandes volúmenes de concreto hacen que haya la necesidad de emplear mejoras, optimizaciones en las tecnologías del mismo ya que para los recursos para la producción del concreto aumenta cada vez más su valor. Es por esto que se realizará el dimensionamiento de un pavimento de rígido ultradelgado para caminos de bajo tráfico analizando su espesor de diseño, las optimizaciones en 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 un pavimento rígido ultradelgado de una manera rápida y sencilla ayuda al procedimiento constructivo de la losa.

Este estudio servirá para así ver el funcionamiento que tendrá el pavimento ultradelgado de concreto con losas cortas a diferencia de las losas convencionales que con el pasar del tiempo se generan deterioros como las fisuras en las vías ocasionando incomodidad al transporte, para así poder saber las ventajas que tendrá esta aplicación. Con este fin se presentan nuevas metodologías para reducir los efectos de la interacción de la carga y las tensiones de alabeo la aplicación de losas ultradelgadas para bajo tráfico. Es por ello que en el presente trabajo se enfocará en verificar y observar las mejoras brindadas por un pavimento rígido ultradelgado su optimización en material, volúmenes de concreto y empleo de tiempo en su aplicación, para así tener nuevas consideraciones en los futuros diseños.

En el pavimento ultradelgado los tamaños de las losas se eligen de tal manera que no más de un set de ruedas del camión quede sobre una losa esto reduce los alabeos y su empleo de fibras metálicas actúan con reductoras del efecto superficial de craquelado (cracking) también tienden a evitar fisuras.

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 un pavimento que brindará 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 Problemática

Las condiciones que presentan las calles de la comunidad de Colonia Linares- Bermejo son poco transitables para los habitantes de la zona, los cuales viven principalmente de la agricultura y producción de caña de azúcar y necesitan sacar sus productos cada cierto periodo todo este proceso sería más fácil si se pudiera contar con mejores condiciones a la hora de transportarse y así también en la comunidad existe un centro de estudio a nivel técnico, que en temporadas de lluvia las calles se hacen intransitables.

Muchas veces sectores como estos son olvidados por ser una minoría, pero con los años pueden convertirse en un movimiento económico más para la ciudad de Bermejo y la comunidad 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 ultradelgados.

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 un pavimento ultradelgado como solución para mejorar el comportamiento del concreto, el uso de la fibra metálica 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 la fibra metálica 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

¿Cómo el dimensionamiento de un pavimento rígido ultradelgado para calles de bajo tráfico optimizando su espesor con el software optipave me permitirá mejorar las condiciones de transitabilidad de la comunidad?

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Realizar el dimensionamiento del espesor de un pavimento rígido ultradelgado aplicado a calles de bajo tráfico con el software Optipave

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar los aspectos y fundamentos teóricos más relevantes sobre pavimentos rígidos ultradelgados.
- Realizar un análisis del resultado del espesor de la losa ultradelgada obtenido de la simulación del software Optipave.
- Analizar los resultados de la prueba a compresión simple y flexotracción del hormigón con fibra metálica
- Elaborar un análisis técnico y económico

1.5. DISEÑO METODOLÓGICO

1.5.1. Componentes

1.5.1.1. Unidades de estudio

El pavimento rígido ultradelgado en caminos de bajo tráfico; 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. Para un proyecto de inversión en un camino de bajo tráfico 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 tránsito, se deben considerar soluciones intermedias con estándares geométricos y estructura de pavimento menores a los mínimos, como los denominados “pavimentos ultradelgados”.

1.5.1.2. Población

Pavimento rígido ultradelgado en calles de bajo tráfico aparece como una de las mejores alternativas técnico-económicas para mejorar el desempeño del hormigón. Estos aparecen como una solución 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 sollicitaciones 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.

1.5.1.3. Muestra

El pavimento rígido ultradelgado en caminos de bajo tráfico aplicado en zonas urbanas y rurales de la Ciudad de Bermejo que por sus condiciones de clima extremos se aplica pavimento rígido en sus calles ya sean de alto o bajo tráfico; surge la aplicación de este dimensionamiento 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 que cuentan con un bajo volumen de tráfico.

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

1.5.1.4. Muestreo

Se prevé realizar la aplicación de este pavimento rígido ultradelgado en la comunidad de Colonia Linares que se encuentra a 9,92 km de la ciudad de Bermejo, se eligió la calle principal de la comunidad por una comunidad poco transitada y ser más usada por los comunarios por lo tanto se hará un estudio del suelo para obtener el valor del 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 IP-30, los agregados pétreos serán extraídos naturalmente del Río Tarija que se encuentra cerca de la comunidad. Los instrumentos probetas, pala, mezcladora, varilla, badilejos, etc. serán proporcionados por el laboratorio de la universidad este análisis se realizará en el laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.6.1. Método seleccionado

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

El método descriptivo este método se basa en la observación y la experimentación de hechos y acciones concretas para así poder llegar a una resolución o conclusión general sobre estos busca describir y explicar lo que se investiga, pero no dar las razones por las cuales eso tiene lugar. es decir, en este proceso se comienza por los datos y finaliza llegan a un análisis, por lo tanto, se puede decir que asciende de lo particular a lo general.

1.6.2. Técnicas empleadas

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 circulares y rectangulares en el laboratorio de la universidad, esto con el objetivo de verificar la resistencia a la flexión y compresión del concreto con fibra metálica.

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 las pruebas de laboratorio se obtendrán los datos, los cuales son necesarios para el uso en el trabajo en gabinete para realizar los cálculos correspondientes.

1.6.3. Proceso metodológico

Esta aplicación contará con cuatro partes importantes:

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 vehicular las 24 horas del día, en el acceso principal de ingreso a la comunidad.

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 con fibras 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.

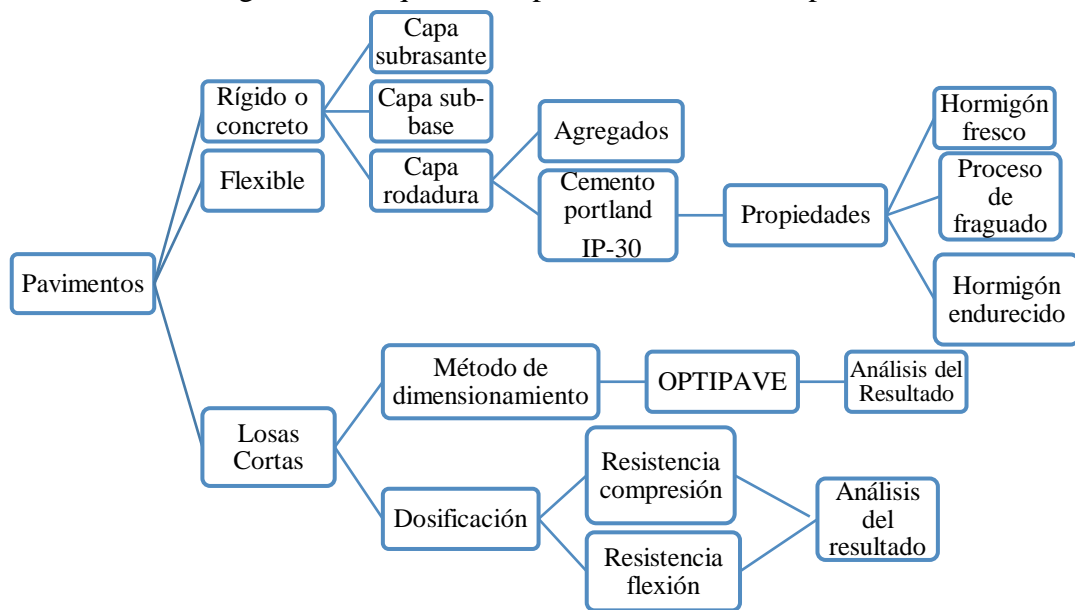
Obtenidos los datos se hará el respectivo análisis de los resultados.

Cuarta parte

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

1.6.4. Esquema de la metodología

Figura 1.1. Esquema del procedimiento de la aplicación.



Fuente: Elaboración propia

1.6.5. Aplicación de instrumentos y equipos

Se realizará el aforo vehicular manual

Figura 1.2. Aforo manual



Fuente. Propuesta de mejora en el nivel de servicio peatonal para la intersección de la av. Angamos con la av. Tomás Marsano ubicado en el distrito de Surquillo-Lima

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

Figura 1.3. Probetas



Fuente: Elaboración propia.

Flexómetro para sacar las dimensiones de las probetas.

Figura 1.4. Flexómetro



Fuente: Elaboración propia.

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

Figura 1.5. Máquina de ensayo de compresión



Fuente: Elaboración propia.

Hormigonera que nos permitirá mezclar todos nuestros materiales.

Figura 1.6. Hormigonera



Fuente: Elaboración propia.

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

Figura 1.7. Enrasadora metálica



Fuente: Elaboración propia.

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

Figura 1.8. Tamices



Fuente: Elaboración propia.

Balanza eléctrica para el pesado de los materiales

Figura 1.9. Balanza



Fuente: Elaboración propia.

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

Figura 1.10. Cono holandés



Fuente: Elaboración propia.

1.7. 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:

$$x = X \pm s$$

1.8. ALCANCE

En esta parte se desarrollará el alcance que tendrá esta investigación y a lo que se quiere lograr. En este trabajo se requiere la obtención de datos mediante ensayos de laboratorios como el CBR de la subrasante, probetas para la realización de las pruebas de resistencia además se requiere el aforo de los vehículos que circulan por la comunidad. El fin de este

trabajo es presentar un pavimento rígido ultradelgado que sea viable para su aplicación en calles de bajo tráfico.

El término de pavimento ultradelgado es nuevo en nuestro medio por ser un pavimento con fibras metálicas las principales mejoras que aportan estos pavimentos son de disminuir las fisuras por contracción y mejorar la resistencia a tracción.

Se creó un nuevo software para el diseño de pavimentos rígidos ultradelgados que es el optipave es una herramienta informática que optimiza las dimensiones del espesor del pavimento con la implementación de fibras metálicas.

Con los datos obtenidos en los laboratorios y con la información obtenida en campo, con la observación de la información recolectada se realizará el dimensionamiento del espesor del pavimento rígido ultradelgado llegando a obtener el resultado del espesor que es el fin de este proyecto.

Analizar los resultados si es técnica y económicamente la aplicación de esos pavimentos rígidos ultradelgados en calles de bajo tráfico.

CAPÍTULO II

PROPIEDADES GENERALES DE LOS 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.

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida(s) entre el nivel superior de las terracerías (subrasante) y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales; así como de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

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.

2.2. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS

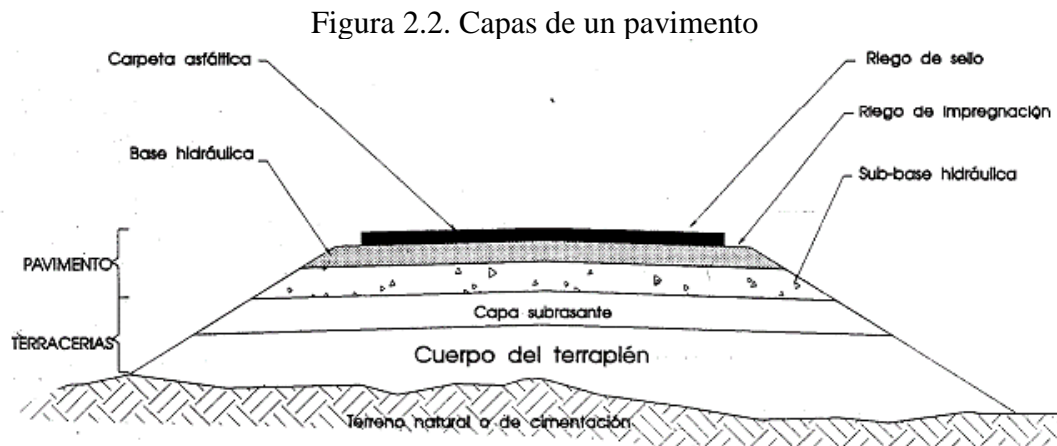
La clasificación de pavimentos está sujeta a las limitaciones inherentes a las técnicas de clasificación. Históricamente, los pavimentos han sido divididos en dos categorías:

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos Rígidos

A parte de los tipos de pavimentos ya citados existe actualmente el llamado semirrígido que es, esencialmente, un pavimento flexible a cuya base se le ha dado una rigidez por la adición de cemento o asfalto.

2.2.1. Pavimento flexible

Consisten de una superficie de desgaste o carpeta relativamente delgada construida sobre unas capas (Base y Subbase), apoyándose este conjunto sobre la subrasante compactada, de manera que la subbase, base y superficie de desgaste o carpeta son las componentes estructurales de este tipo de pavimento.

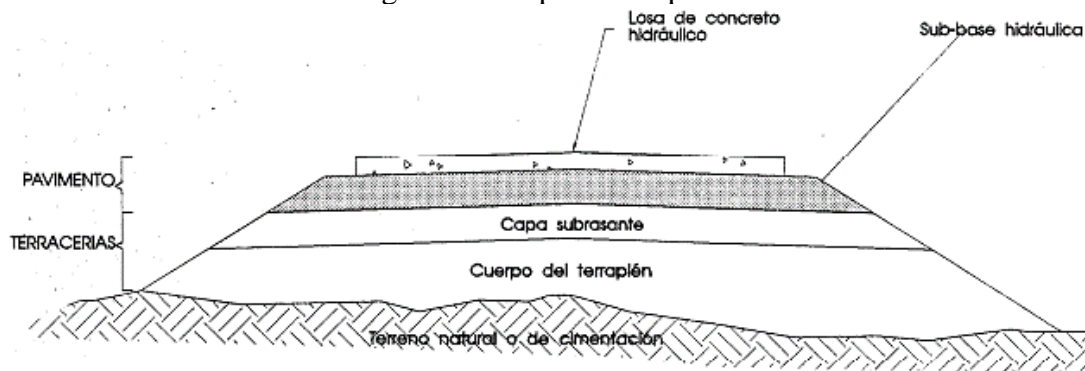


Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/capitulo2.pdf>

2.2.2. Pavimento rígido

Consisten en una losa de concreto hidráulico y pueden o no tener una capa subbase entre la losa y la subrasante.

Figura 2.3. Capas de un pavimento



Fuente: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/capitulo2.pdf>

2.3. FUNCIONES DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO

2.3.1. Pavimento flexible

2.3.1.1. Subbase

Para muchos, una de las principales funciones de esta capa en un pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más barato posible. Todo el espesor podría construirse con un material de alta calidad, como el usado en la base, pero se prefiere hacer aquella más delgada y sustituirse en parte por una subbase de menor calidad, aun cuando esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, pues, naturalmente cuanto menor sea la calidad del material colocado será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Sus funciones son la de resistir las cargas de tránsito y transmitir las adecuadamente a las terracerías.

Otra función consiste en servir de transición entre el material de base, generalmente granular más o menos grueso y la propia subrasante. La subbase, más fina que la base, actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante.

La subbase también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento.

Otra función de esta capa es la de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre a través de las capas superiores, y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de la terracería.

Figura 2.4. Capa sub base



Fuente: <https://blog.vise.com.mx/funciones-de-las-capas-de-un-pavimento>

2.3.1.2. Base

Hasta cierto punto existe en la base una función económica análoga a la comentada para el caso de la subbase, pues permite reducir el espesor de la carpeta que viene a ser la capa más costosa. Pero la función fundamental de esta capa consiste en, proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

Figura 2.5. Capa base



Fuente: <https://blog.vise.com.mx/funciones-de-las-capas-de-un-pavimento>

2.3.1.3. Carpeta

La carpeta debe de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color convenientes y resistir los efectos abrasivos del tráfico hasta donde sea posible ya que estará en contacto directo con él; además debe impedir hasta cierta medida el paso del agua a las capas inferiores.

Figura 2.6. Capa de rodadura



Fuente: <https://es.slideshare.net/nievesiita/pavimento-flexible-y-rigido>

2.3.2. Pavimentos rígidos

2.3.2.1. Subrasante

Es el terreno natural donde se ubica toda la estructura del pavimento, es decir, no es parte de la estructura en sí. Sin embargo, la capacidad de carga de la capa subrasante es un factor básico que incide directamente en la elección del espesor total del pavimento. Su propósito es resistir la carga transmitida por el tráfico a la acera, transferir y distribuir la carga al cuerpo del terraplén, evitar que el material plástico fino del cuerpo del terraplén contamine la superficie de la carretera y ahorrar el espesor de la superficie de la carretera.

2.3.2.2. Sub base

Sus funciones son análogas a la misma en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado; protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, que de otra manera inducirían esfuerzos adicionales a aquella. En este caso, la Sub-Base no tiene ningún fin estructural pues la losa debe ser suficiente para soportar las cargas.

2.3.2.3. Losa

La capa superior del pavimento rígido, es conformada por una mezcla de cemento, agua y áridos, está diseñada de forma que pueda soportar la carga del tráfico y resistir el deslizamiento de los vehículos y el desgaste resultante.

Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado las cargas que se le apliquen.¹

Figura 2.7. Capa de rodadura



Fuente: <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-rigido/>

2.4. 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.

¹ <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/capitulo2.pdf>

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.

Casajo 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.

2.4.1. 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.

2.4.1.1. Clasificación según su procedencia

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

a) Agregados naturales

Figura 2.8. Extracción natural de agregados



Fuente: <http://www.notimas.net/nacionales/extraccion-de-agregados-amenaza-rios-y-playas-de-maria-trinidad-sanchez/>

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 2.9. Chancadora de agregados



Fuente: http://www.supermix.com.pe/supermix/equipos_equipo_chancado.html

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.

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. Clasificación del suelo

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

2.5. 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.

2.5.1. Propiedades del concreto fresco

El concreto presenta las siguientes propiedades:

2.5.1.1. 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.

2.5.1.2. Exudación

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.

2.5.1.3. 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.

2.5.2. Propiedades del concreto endurecido

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

2.5.2.1. Resistencia

Es la capacidad que tendrá el concreto de resistir a las diferentes solicitaciones 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.

2.5.2.2. 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.

2.5.2.3. 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.

2.5.2.4. 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

2.6. 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.

2.6.1. Tipos de juntas

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

2.6.2. Junta longitudinal de construcción

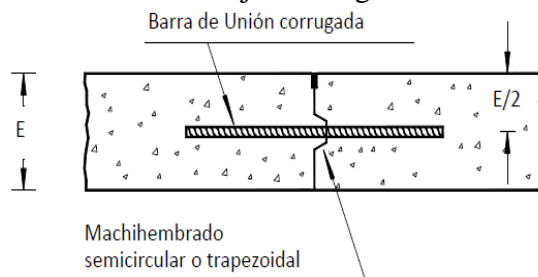
Son aquellas paralelas al eje del camino, a una distancia entre ellas de 3,5 metros, salvo indicaciones del proyecto que indiquen otra distancia.

² <https://www.construyendoseguro.com/cuales-son-las-propiedades-del-concreto/>

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 2.10. Detalle 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

2.6.3. 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 50mm.

2.6.4. 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°.

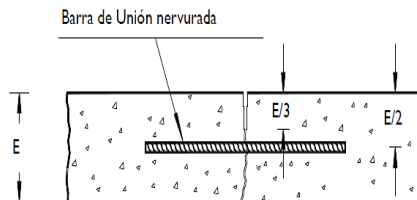
2.6.5. Juntas de contracción en el hormigón endurecido

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 2.11. Detalle de una junta longitudinal de contracción



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

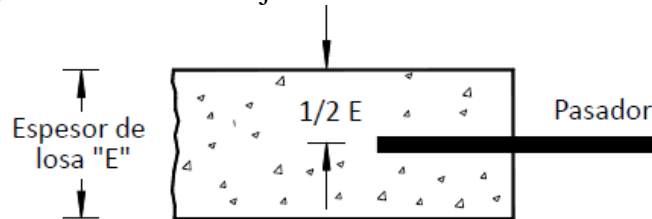
2.6.6. Juntas transversales de construcción

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

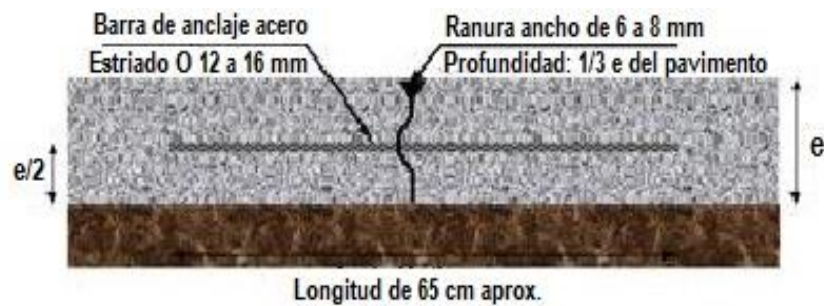
paralización, se continúe con un vaciado uniforme. Esta junta puede ser construida transversal y longitudinalmente.

Figura 2.12. Detalle de juntas transversales de construcción



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

Figura 2.13. Detalle de juntas transversales de construcción



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

2.6.7. Juntas transversales de expansión

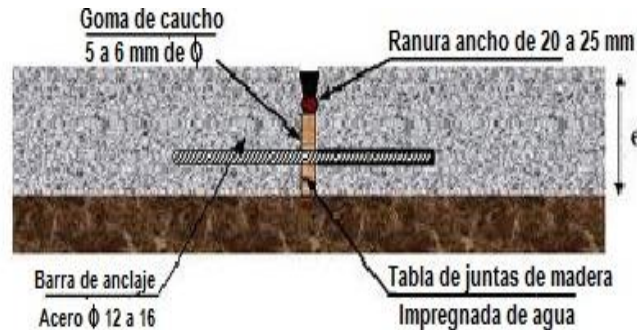
Se conocen también como juntas de control, estas se construyen cada determinada distancia en las losas con la finalidad de que las grietas ocurran en las juntas y no sin obedecer ningún patrón. El espaciamiento de estas juntas depende de varios factores, tales como: el coeficiente de dilatación, espesor 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 2.14. Detalle de juntas transversales de expansión



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

2.6.8. 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 2.15. Detalle de junta transversal de contracción



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

Tabla 2.3. Dimensiones de junta transversal de contracción

Espesor pav. 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		
Profund. 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
Profund. 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

2.6.9. 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.

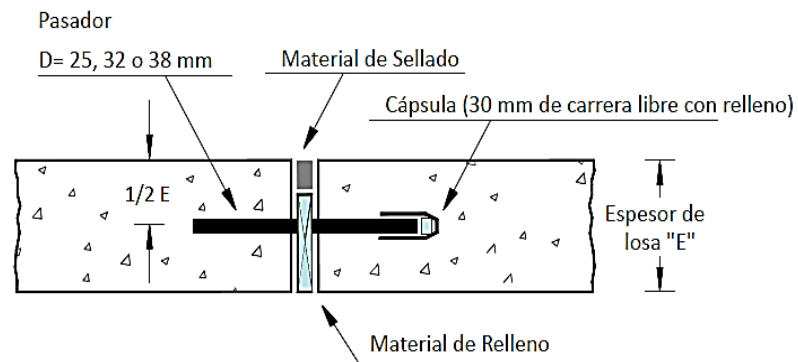
En pavimentos sin pasadores las 3 o 4 juntas próximas a la de dilatación deben ejecutarse con pasadores.

Figura 2.16. Junta de expansión



Fuente: Suelo o terreno de fundación- Universidad Alas Peruanas

Figura 2.17. Detalle de junta de expansión



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

2.6.10. 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, la junta debe estar seca.

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.

2.6.10.1. 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 2.18. Obrero realizando el sellado de un pavimento



Fuente: Guía básica de juntas para pavimentos rígidos Bogotá-Colombia³

³ Guía básica de juntas para pavimentos rígidos Bogotá-Colombia

2.7. 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.

Las fisuras, de acuerdo a su momento de ocurrencia pueden originarse en la etapa de hormigón fresco o estado plástico, es decir, antes de finalizar el fraguado, o a partir de finalizado el fraguado, o sea, durante la etapa de endurecimiento del hormigón.⁴

Así mismo, las fisuras se pueden clasificar en:

2.7.1. Fisuras estabilizadas

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

2.7.2. Fisuras en movimiento

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

2.7.3. 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:

⁴ <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029104.pdf>

2.7.4. 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 las siguientes:

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.

2.7.5. 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 la añadido 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.

2.7.6. 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:

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. Para reducir la pérdida de humedad se puede optar por el uso de boquillas de niebla para saturar el aire y además el uso de láminas plásticas para cubrir las superficies.

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.

2.7.7. 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:

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.

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

2.8.1. 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)	mm
10.Tamaño máximo (TM)	mm
11.Peso específico del cemento	gr/cm ³

Fuente: Manual para el método ACI-211

2.8.2. 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

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	Asienta	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

2.8.3. 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

2.8.4. 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

2.8.5. 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

2.8.6. 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

Ha = Humedad de la arena

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

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

Donde:

PAG = Peso del agregado grueso

Hg = Humedad de la grava

2.8.7. 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

2.8.8. 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

2.8.9. Proporciones de mezcla (adimensional)

$$\text{Proporción cemento} = \frac{PC}{PC}$$

$$\text{Proporción arena} = \frac{PC}{PAF}$$

$$\text{Proporción grava} = \frac{PC}{PAG}$$

Cemento : Arena : Grava

2.9. GUÍA DE DISEÑO OPTIPAVE

El software de Diseño Optipave, es la segunda versión del programa de diseño de losas con geometría optimizada, el cuál fue desarrollado en lenguaje java. En esta segunda versión el programa calcula las tensiones en el pavimento, utilizando el concepto de estructura equivalente y redes neuronales. A continuación, se muestra la siguiente guía

que explica en mayor detalle, los parámetros de diseño necesarios para poder realizar diseños del paquete estructural de un pavimento con esta herramienta.

Los parámetros de diseño se pueden dividir en cinco categorías como se muestra a continuación. Cada una de estas categorías será explicada de forma más detallada en los subcapítulos siguientes:

- Parámetros de diseño del tipo de pavimento
- Parámetros de diseño del tráfico
- Propiedades del hormigón
- Parámetros del suelo
- Clima

2.9.1. Parámetros de diseño del tipo de pavimento

2.9.1.1. Vida de diseño

La vida de diseño del pavimento, es la cantidad de tiempo (en años) en que se espera que un pavimento se desempeñe con un cierto estándar de calidad. El desempeño del pavimento se predice desde el momento en que el camino se abra al tráfico. La vida de diseño se puede seleccionar dependiendo de la clasificación de la vía, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.12. Vida de diseño recomendado según clasificación del pavimento

Clasificación de la vía	Vida de diseño (Años)
Rutas locales y calles	15-20
Calles principales y vías de mediano tráfico < 15*10 ⁶ EE	20
Carreteras interurbanas y vías de alto tráfico > 15*10 ⁶ EE	20-40

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.1.2. Largo de losa

El largo de una losa, que es el equivalente al espaciamiento existente entre una junta transversal y la siguiente, depende de la ubicación de construcción del pavimento y las técnicas, equipos y materiales utilizados durante la construcción. Si la pavimentación se realiza en un área propensa a alabeos de magnitudes altas, es conveniente realizar juntas transversales menos espaciadas. El largo de la losa debe ser de entre 1,4 y 2,3 m y en caso de tener tráfico en más de una dirección (intersecciones o pavimentos industriales), se debe reducir a no más de 1,75m para evitar que más de un set de ruedas cargue la losa de forma diagonal.

2.9.1.3. Espesor de la losa de hormigón

Espesor de la losa de hormigón soportante, que será la carpeta de rodadura, se expresa en milímetros y el espesor puede ir de 60mm a 250mm. Este programa de diseño permite evaluar el desempeño de un cierto espesor del pavimento o realizar una iteración que obtiene el espesor mínimo que cumple con el umbral de diseño especificado.

2.9.1.4. Tipo de borde

El tipo de borde se refiere a la condición de borde del pavimento, lo cual tiene dos efectos, primero define el soporte lateral que entrega la berma al pavimento en términos de transferencia de carga y por otro lado aleja el tráfico del borde. Se definieron cuatro tipos de borde que se muestran en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13. Tipos de borde y su efecto en términos de soporte y circulación del tráfico

Tipo de borde	Soporte a la estructura	¿Aleja el tráfico del borde?
Borde libre	Nulo	No
Berma granular/ asfáltica	Muy leve	No
Berma de hormigón	Leve	No
Vereda	Mediano	Sí

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.1.5. Sobreechanco en las losas

El sobreechanco en la losa exterior del pavimento mejora notablemente el desempeño de este al alejar de manera significativa el tráfico del borde ya que aumenta la distancia entre la línea de demarcación externa con el borde del pavimento.

2.9.1.6. Barras de transferencia de carga

El uso de barras de transferencia de carga en juntas transversales permite una mayor y más prolongada transferencia de carga en la junta transversal, mejorando el comportamiento tanto estructural como el escalonamiento. Su uso se recomienda para tráficoos altos. (>15.000.000 EE)

2.9.1.7. Interfaz pavimento-base

El programa añade la posibilidad de realizar un diseño de una capa de hormigón adherida sobre otra existente. (Esta opción no se encuentra de momento disponible)

2.9.1.8. IRI inicial

Es el IRI medido en el pavimento, justo antes de realizar la apertura al tráfico.

2.9.1.9. Porcentaje de losas agrietadas

Es el umbral de daño aceptado, dado un nivel de confiabilidad que se espera tenga el pavimento al final de su vida de diseño. El nivel de daño máximo admisible depende de la importancia de la vía. En la siguiente tabla se muestran valores recomendados según el tipo de vía:

Tabla 2.14. Valores recomendados de porcentaje máximo admisible de losas agrietadas según la clasificación de la vía

Clasificación de la vía	Porcentaje máximo admisible de losas agrietadas
Rutas locales y calles	30%-50%
Calles principales y vías de mediano tráfico < 15*10 ⁶ ESALS	10%-30%
Carreteras interurbanas y vías de alto tráfico > 15*10 ⁶ EE	10%

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.1.10. IRI final de diseño

IRI máximo admisible que deberá cumplir el pavimento. En caso de superar ese valor el pavimento deberá ser sometido a algún tratamiento que permita bajar los niveles de IRI. En general el valor máximo permitido es de 3,5 m/km para Chile.

2.9.10.11. Escalonamiento promedio final de diseño

Escalonamiento máximo admisible que deberá cumplir el pavimento. En caso de superar ese valor el pavimento deberá ser sometido a algún tratamiento que permita bajar los niveles de escalonamiento. En general el valor promedio máximo permitido es de 5 mm para Chile.

2.9.1.12. Confiabilidad

Grado de confiabilidad del diseño, que se controla por el factor de confiabilidad (M) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_r) y de la desviación normal del error combinado (S_e) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La desviación normal del error combinado (S_e), es la dispersión de resultados entre el daño por fatiga calculado y el daño medido real, esto incluye las dispersiones inherentes a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento, entre los cuales tienen una participación preponderante los errores que pudieran darse en la predicción del tránsito solicitante y el grado de variabilidad que presentan los suelos de la subrasante. Cuando el nivel de solicitaciones es muy elevado, la probabilidad de errar por defecto en la predicción es menor, debido a que la pista de diseño se encuentra a niveles cercanos a la saturación; asimismo, entre mayor es la dispersión de los valores representativos de los suelos de la subrasante, existe una probabilidad más alta de fallas. Por último, con el propósito de minimizar los trabajos de mantenimiento durante la vida de servicio de la obra, el nivel de confianza del diseño debe crecer en la medida que aumenta el tránsito.

Este método permite asignar de forma diferente niveles de confiabilidad según el tipo de deterioro y se divide en:

- Confiabilidad porcentaje de losas agrietadas
- Confiabilidad IRI final de diseño
- Confiabilidad escalonamiento final promedio

Valores Recomendados según la clasificación de la vía, se muestra en la Tabla 2.15

Tabla 2.15. Confiabilidad según la clasificación de la vía

Clasificación de la vía	Urbanas	Rurales
Carreteras interurbanas y vías de alto tráfico	85%-97%	80%-95%
Calles principales y vías de mediano tráfico	80%-95%	75%-90%
Calles de bajo tráfico	75%-85%	70%-80%
Pasaje	50%-75%	50%-75%

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.2. Tráfico

El programa permite ingresar el tráfico como parámetro de diseño, a través de dos variables:

- Tráfico por ejes equivalentes
- Tráfico por espectro de carga

2.9.2.1. Tráfico por ejes equivalentes

Es un parámetro que transforma los diferentes ejes que circulan por una ruta, a un eje simple de rueda doble (E.S.R.D) de 80 KN (18 Kips) de peso, considerado como eje patrón (Daño Equivalente). El factor de equivalencia es el cuociente que resulta entre el número de ejes de una configuración y peso, necesarios para originar una determinada pérdida de serviciabilidad, respecto del número de ejes patrón requerido para producir la misma pérdida de serviciabilidad; el valor de este cuociente es el Factor de Ejes Equivalentes. En el programa se debe ingresar el número total de ejes equivalentes que circularán por el pavimento desde la apertura al tráfico hasta el final de la vida de diseño.

2.9.2.2. Espectro de carga

Los siguientes inputs son necesarios para realizar el diseño mediante un análisis de espectro de carga:

- TMDA Inicial (Ambos Sentidos) solo vehículos relevantes (TMA_i): Número promedio anual de vehículos relevantes (buses o camiones) que circulan durante un día en ambos sentidos y en la totalidad de las pistas.
- Porcentaje de Tráfico en Dirección de Diseño: Proporción de vehículos pesados que circulan en la dirección de diseño. Típicamente se utiliza un valor de 50%, con rangos que varían entre 40% y 60%
- Porcentaje de Tráfico en Pista de Diseño: Proporción del tráfico pesado que transita por la pista de diseño, la cual corresponde generalmente a la pista externa del pavimento.
- Porcentaje de Tráfico en Verano: Debido a que las propiedades del pavimento son distintas en invierno que, en verano, que se puede diferenciar el porcentaje de vehículos que circulan en verano de los que circulan en invierno.
- Tráfico Total: El número total de vehículos pesados se obtiene de la siguiente sumatoria:

$$T_{TOT} = TMA_i \cdot \sum_{i=1}^{Vd} (1 + tc)^{i-1} \cdot T_{DD} \cdot T_{PD}$$

$$T_{TOT} = TMA_i \cdot T_{DD} \cdot T_{PD} \cdot \sum_{i=1}^{Vd} (1 + tc)^{i-1}$$

$$T_{TOT} = TMA_i \cdot T_{DD} \cdot T_{PD} \cdot \frac{((1 + tc)^{Vd} - 1)}{tc}$$

Con:

TMA_i=Tráfico diario medio anual inicial en ambos sentidos

TDD=Porcentaje de tráfico en la dirección de diseño

TPD= Porcentaje de tráfico en pista de diseño

Tc=Tasa anual de crecimiento del tráfico

VD=Vida de diseño del pavimento.

2.9.2.3. Tasa de crecimiento:

Crecimiento anual promedio del tráfico, calculado en base al crecimiento que experimentará el pavimento durante su vida.

2.9.2.4. Tipo de tráfico:

Se debe seleccionar el tipo de tráfico que modele de mejor forma el tráfico en el proyecto. En caso de que se tenga información precisa del tipo de tráfico que circulará por el pavimento, es posible agregarlo como nuevo tipo de tráfico, a partir de una planilla Excel. El programa trae incorporado por defecto las siguientes clasificaciones de tráfico:

2.9.2.4.1. Clasificación de la federal Highway Administration:

La Federal Highway Administration de EEUU asigna al tipo de tráfico una numeración que va desde 1 hasta 17. El criterio de selección del grupo a utilizar se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 2.16. Grupo de clasificación de tráfico recomendado según uso del pavimento

Uso del pavimento	Grupo de clasificación recomendado
Arterias principales (rutas Inter-regionales)	1,2,3,4,5,8,11,13
Arterias principales (rutas interregionales incluyendo autopistas urbanas)	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,16
Arterias menores	4,6,8,9,10,11,12,15,16,17
Colectoras mayores	6,9,12,14,15,17
Colectoras menores	9,12,14,17
Calles locales y de servicio	9,12,14,18

Fuente: Documento guía de la TCPavements

Tabla 2.17. Grupo de clasificación de tráfico recomendado según uso del pavimento según tipo de vehículos

Porcentaje de flujo de buses	Tipo de camiones		Grupo TTC
	Múltiples remolques	Remolque Simple y de una unidad	
Nulo a bajo (<2%)	Relativamente alto número de camiones con múltiples remolques (>10%)	Predominio de remolque simple	5
		Alto porcentaje de camiones de remolque simple, pero con algunos camiones de una unidad	8
		Tráfico de camiones mixto, con alto número de camiones con remolque simple	11
		Tráfico de camiones mixto, con más o menos igual número de camiones de unidad simple y camiones de remolque simple	13
		Predominio de camiones de una unidad	16
	Número moderado de camiones con múltiples remolques (2 a 10%)	Predominio de remolque simple	3
		Tráfico de camiones mixto, con alto porcentaje de camiones con remolque simple	7
		Tráfico de camiones mixto, con más o menos igual porcentaje de camiones de unidad simple y camiones de remolque simple	10
		Predominio de camiones de una unidad	15
		Bajo a moderada (entre 2 y 25%)	Bajo a nulo (<2%)
Predominio de remolque simple con bajo número de camiones de una unidad	2		
Predominio de remolque simple con bajo a moderado número de camiones de una unidad	4		
Tráfico de camiones mixto, con mayor número de camiones con remolque simple	6		
Tráfico de camiones mixto, con más o menos igual número de camiones de unidad simple y camiones de remolque simple	9		
Tráfico de camiones mixto, con mayor número de camiones de una unidad	12		
Predominio de camiones de una unidad	14		
Ruta con alto tráfico de buses (>25%)	Bajo a nulo (<2%)		

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.2.4.2. Clasificación de la American Concrete Pavement Association (ACPA)

Incorporados en el programa de diseño de Streetpave, La ACPA considera cuatro tipos de tráfico para el flujo por vías urbanas:

Tabla.2.18. Tipos de tráfico

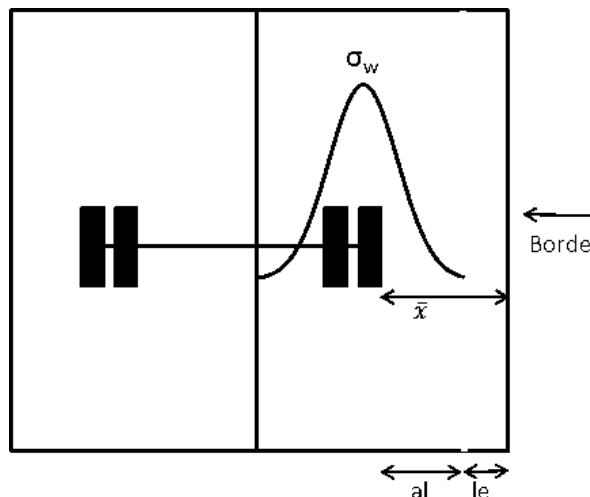
Clasificación de tráfico	Tipo de vía	Tráfico de diseño (TMDA)	Peso máximo/eje	
			Simple	Tandem
Streetpave residencial	pasaje	hasta 25	98	160
Streetpave collector	vía local	40-1000	116	196
Streetpave minor Arterial	colectora	5-5000	133	231
Streetpave mayor arterial	troncal	1500-8000	151	267

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.2.5. Distribución lateral del tráfico

El efecto que produce la ubicación con respecto al borde del pavimento es significativo, por lo tanto, es importante modelar el pavimento, con distintas posiciones de los vehículos, con respecto al borde del pavimento. La posición en que pasa un cierto vehículo, tiene una distribución normal con media 45 cm desde la línea de demarcación del pavimento y una desviación estándar de 25 cm.

Figura 2.19. Distribución lateral típica de un pavimento de hormigón

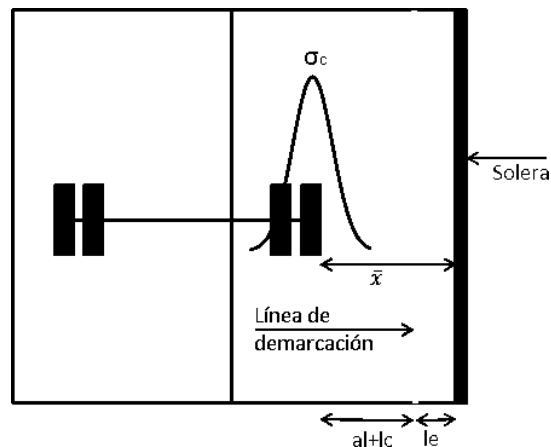


Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.2.6. Efecto de soleras y sobreebanco en la distribución lateral del tráfico

Al utilizar losas con sobreebanco o soleras en el borde, aumenta de forma significativa la distancia en que los vehículos se desplazan con respecto al borde del pavimento, comparado a los otros tipos de borde. La solera aumenta la distancia entre la línea de demarcación del pavimento y la rueda exterior del vehículo ($al + lc$) y además disminuye la desviación estándar de la distribución del tráfico.

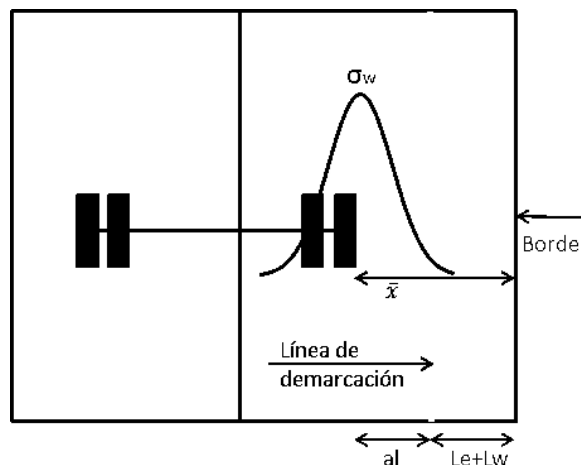
Figura 2.20. Distribución lateral para un pavimento con solera en el borde



Fuente: Documento guía de la TCPavements

El efecto del sobreebanco en una losa es similar al de la solera, al aumentar la distancia media del borde. Esto ocurre debido a un aumento en la distancia entre el borde del pavimento y la línea de demarcación ($Le+Lw$)

Figura 2.21. Distribución lateral del tráfico para un pavimento con sobreebanco



Fuente: Documento guía de la TCPavements

Los valores por defecto de la distancia entre el borde, la línea de demarcación y la rueda externa del vehículo se muestran en la Tabla 2.19

Tabla 2.19. Valores por defecto de las distancias entre el borde, la línea de demarcación y la rueda externa de los vehículos

Tipo de borde	Distancia entre el borde y la línea de demarcación	Distancia entre la línea de demarcación y la rueda externa de los vehículos	Distancia entre el borde y la rueda externa de demarcación
Borde libre, Berma de hormigón, berma granular/asfáltica	150 mm	450 mm	600 mm
Solera de borde	150 mm	550 mm	700 mm
Losa con sobreancho	300 mm	450 mm	750 mm

Fuente: Documento guía de la TCPavements

Los valores por defecto de la desviación estándar se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.20. Desviación estándar según tipo de borde

Tipo de borde	Desviación estándar por defecto de distar lateral de tráfico
Borde libre, Berma de hormigón, berma granular/asfáltica	250 mm
Solera de borde	200 mm
Losa con sobreancho	250 mm

Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.3. Propiedades del hormigón

2.9.3.1. Resistencia del hormigón

La resistencia del hormigón se mide por lo general a partir del ensayo de flexotracción (LNV 83). Sin embargo, este método permite obtener la resistencia a la flexotracción por medio de la resistencia de probetas cúbicas o cilíndricas utilizando factores de correlación.

Se deberá especificar la resistencia característica e incorporar el efecto de la dispersión de resistencias normales en la fabricación del hormigón.

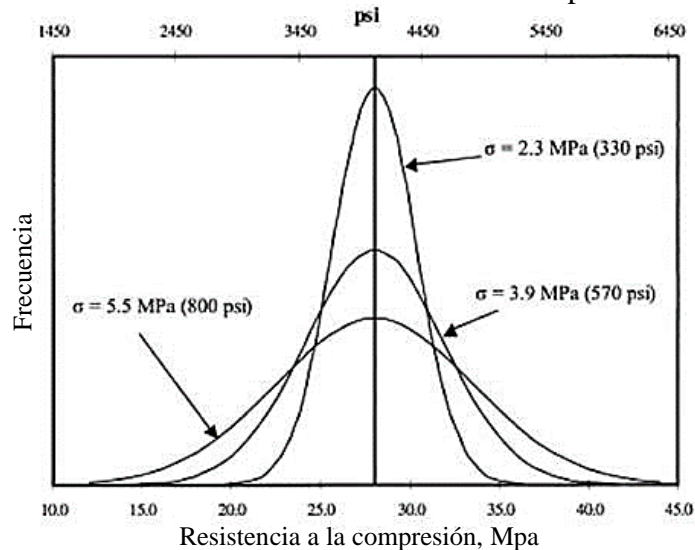
2.9.3.2. Confiabilidad de la mezcla de hormigón

Nivel de confianza de la mezcla de hormigón. Generalmente se utiliza un 80%.

2.9.3.3. Desviación estándar de diseño del hormigón

Desviación que tiene el proceso de fabricación del hormigón. Se recomienda 0,4 Mpa.

Figura 2.22. Efecto de la desviación estándar durante la producción de hormigón



Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.3.4. Aumento de resistencia 28-90 días

Corresponde al incremento porcentual en la resistencia a la Flexo tracción que ocurre desde el día 28 al día 90 en las losas de hormigón. El valor de este depende de cada mezcla, pero se recomienda utilizar por defecto un valor de 1.1 (10%)

2.9.3.5. Módulo de elasticidad del hormigón

El Módulo de Elasticidad del hormigón utilizado se puede obtener ya sea a través de ensayo en laboratorio o por medio de correlaciones con la resistencia a compresión. En caso de no tener certeza de este valor, se recomienda utilizar la siguiente fórmula que correlaciona resistencia a la compresión con módulo de elasticidad.

$$E_c = 57.600 \cdot \sqrt{f'}$$

Dónde:

E_c = Modulo de Elasticidad [Psi]

f'_c = Resistencia a la Compresión Cilíndrica [Psi]

2.9.3.6. Resistencia residual del hormigón con fibra

La resistencia residual de la fibra se puede ingresar según tres diferentes tipos de ensayo:

- ASTM 1609-10
- Ensayo de Barcelona (UNE 83515-2010)
- ASTM C1399-10

En general se utiliza la norma ASTM 1609-10 como método de ensayo y 1MPa como resistencia residual

2.9.3.7. Peso específico del hormigón

Es el peso de la mezcla de hormigón por unidad de volumen. Se recomienda un valor de 2.400 Kg/m³

2.9.3.8. Módulo de Poisson

Es la razón entre la deformación unitaria lateral y la deformación unitaria axial, causada por una carga en el sentido axial. Su valor por defecto es de 0,15 y varía entre 0,1 y 0,25.

2.9.3.9. Coeficiente de expansión térmico

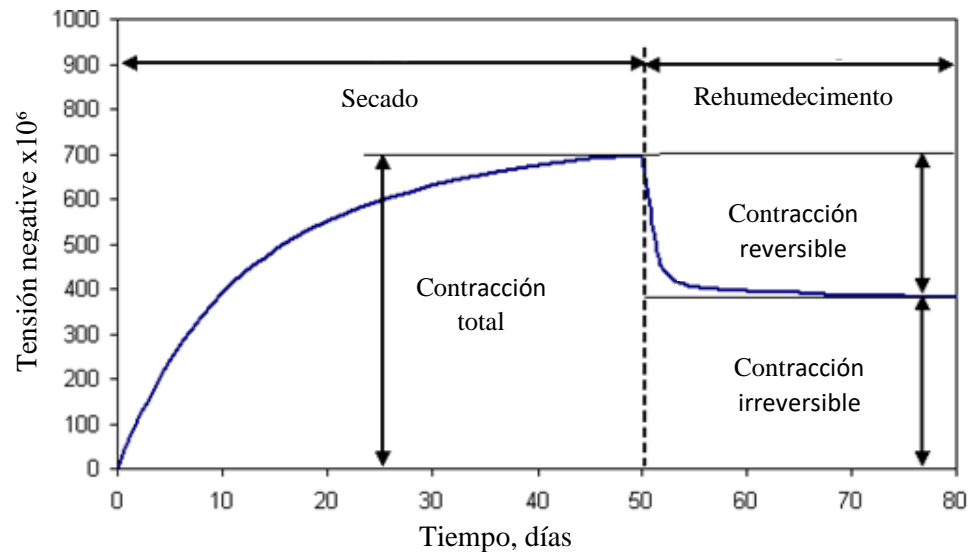
El coeficiente de expansión térmico es una medida de la expansión o contracción de un material al ser sometido a cambios de temperatura. Se utiliza un valor de $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ salvo que se determine el valor por ensayo de laboratorio.

2.9.3.10. Retracción del hormigón a 365 días

La retracción del hormigón es un parámetro de gran importancia en el hormigón que afecta la transferencia de carga que habrá entre dos juntas. Como se ve en la imagen, esta

retracción va aumentando a medida que el hormigón se va endureciendo, hasta un punto en el que baja bruscamente y luego se estabiliza. La retracción en este punto es irreversible ya que no disminuye si se sigue saturando la mezcla. Por defecto la retracción a 365 días se determina aumentando en un 30% este valor final. Se utiliza por defecto 0,0007 ($700\mu\epsilon$).

Figura 2.23. Retracción típica del hormigón en el tiempo



Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.9.3.11. Contenido de aire

Porcentaje de aire contenido en la mezcla de hormigón.

2.9.3.12. Relación agua/cemento

Cantidad de agua utilizada por unidad de cemento en la mezcla de hormigón

2.9.4. Suelo

2.9.4.1. Número de capas

Sin considerar la subrasante como capa, se debe ingresar el número de tipos de suelo, hasta un máximo de seis.

2.9.4.2. Método de ensayo de suelos

Existente res métodos de ensayos de suelos posibles. Estos son:

- LAB: Mediciones hechas en laboratorio mediante ensayo triaxial
- CBR: Mediciones obtenidas mediante correlación con el ensayo CBR (Se recomienda utilizar la siguiente fórmula)

$$Mr=179,61(CBR)^{0,64} \text{ kg/cm}^2$$

- FWD: Mediciones realizadas con deflectómetro de impacto

2.9.4.3. Módulo resiliente de la capa

A cada capa se le ingresa el módulo resiliente. Para la subrasante, se debe ingresar el módulo durante el invierno y el programa calcula el valor en el verano.

2.9.4.4. Módulo de Poisson

El módulo de poisson de cada capa, debe ser ingresado. El programa trae incorporado una tabla, con el valor recomendado según el tipo de suelo, oprimiendo el botón ayuda.

2.9.4.5. Espesor de la capa

Espesor de cada capa ingresada.

2.9.4.6. Resistencia a la erosión

La Resistencia a la erosión que tenga la capa que soporta el pavimento, tiene un impacto significativo en la aparición de deterioros en el pavimento, especialmente con el escalonamiento. La resistencia a la erosión se subclasifica en cinco niveles:

- Nivel 1- Materiales extremadamente resistentes a la erosión
- Nivel 2- Materiales muy resistentes a la erosión
- Nivel3- Materiales resistentes a la erosión
- Nivel 4- Materiales poco resistentes a la erosión

- Nivel 5- Materiales muy erosionables

2.9.4.7. Coeficiente de fricción pavimento-base

Coeficiente de Fricción presente entre la losa de hormigón y la capa soportante, lo que afecta la transferencia de carga del pavimento. Para el caso de suelos granulares, se recomienda usar 0,65 mientras que, para una base tratada con cemento, 0,8.

2.9.4.8. Porcentaje de material fino en la subrasante

Porcentaje de material que pasa la malla#200 existente en la subrasante.

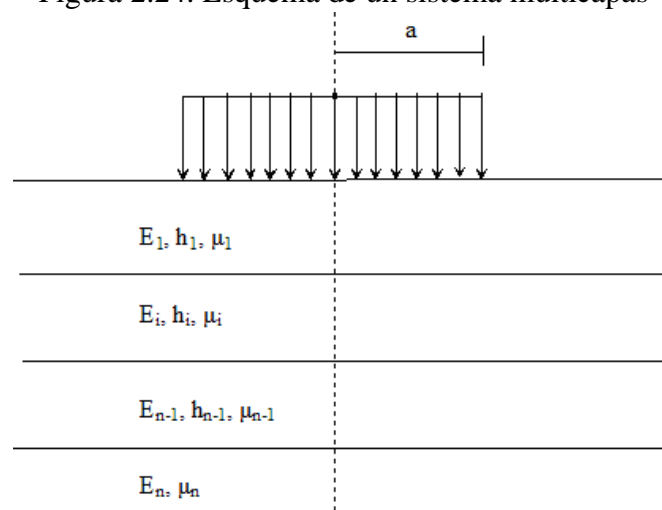
2.9.4.9. Procesamiento de los parámetros del soporte del suelo

El programa utiliza el método K-Sem para obtener los módulos k de la subrasante, para el invierno y el verano.

2.9.4.10. Método K-Sem

Los datos de entrada son las características de los materiales (módulo de Elasticidad y módulos de Poisson) y el espesor de cada capa. El radio de carga circular es constante y equivalente al radio de la placa de carga. Es importante considerar que el método KSEM considera las características propias del material de cada capa, es decir, la relación de Poisson y los módulos de Elasticidad, lo que genera un resultado del módulo de reacción estático. Sin embargo, es muy común trabajar con el módulo de Resiliencia de los materiales, el que nos arroja un resultado relativamente mayor. Es por esto que el software da la opción de utilizar el módulo de elasticidad o el módulo de resiliencia de los materiales, al utilizar este último aparece un factor de 0,5 en el cálculo del módulo de reacción equivalente.

Figura 2.24. Esquema de un sistema multicapas



Fuente: Documento guía de la TCPavements

Dónde:

E_i = Módulo de Elasticidad de la capa i

h_i = Espesor de la capa i

μ_i = Relación de Poisson de la capa i

a = Radio de la carga (38.1 cm)

Característica de los Materiales Módulo de Reacción Equivalente

El cálculo del módulo de reacción equivalente, deriva de la deflexión en la superficie generada por una placa de carga rígida. Este software modela el ensayo de placa de carga de una forma rápida y precisa.

Fórmulas:

Para un masivo semi-infinito (una capa)

$$k = \frac{1,2.73 * E}{2(1 - \mu^2)a}$$

Para dos o más capas:

$$k = \frac{0,0167087 * E_n}{(1 - \mu^2) \left[\frac{(1 - \frac{E_n}{\hat{E}})}{\left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1}}{38.1} \right)^2 \left(\frac{\hat{E}}{E_n} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{E_n}{\hat{E}} \right]}$$

En donde:

$$\hat{E} = E_1 \left[\frac{h_1 + h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} + h_3 \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_1}} + \dots + h_{n-1} \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \right]^3$$

\hat{E} = Módulo Equivalente

E_i = Módulo de Elasticidad de la capa i

h_i = Espesor de la capa i

μ = Relación de Poisson de la capa n

2.9.5. Clima

El clima se ingresa a través de bases de datos de las diferentes localidades del país las cuáles entregan ciertas distribuciones de diferenciales de temperatura entre la parte inferior y superior de la losa. El programa viene incorporado con 12 climas. En caso de que ningún clima sea aplicable a la zona en que se construirá el pavimento y no se tenga información, se deberán utilizar los 4 climas genéricos:

- Húmedo- Heladizo
- Húmedo-no Heladizo
- Seco- Heladizo
- Seco-No Heladizo

2.9.5.1. Gradiente de construcción

El gradiente de construcción es una estimación del alabeo inicial que se produce en la losa debido a retracciones diferenciales entre la parte superior y la parte inferior de esta. Este gradiente se expresa como el gradiente térmico (°C) que existiría para tener la losa plana. El valor depende gran parte de la época del año cuando se construye, y del clima de la

zona. Debido a que no existe mucha información con respecto a este valor por lo que se recomienda utilizar los siguientes valores según la zona en que se construirá el pavimento:

- Zonas Húmedas sin viento -5°C.
- Zonas Húmedas con viento y zonas secas sin viento -10°C
- Zonas Secas con viento y Altura -15° C
- Condiciones extremas de evaporación de agua -20°C

2.9.5.2. Temperatura media de invierno

Corresponde a la temperatura media del aire de los 6 meses de menor temperatura del año.

2.9.5.3. Temperatura media de verano

Corresponde a la temperatura media del aire de los 6 meses de mayor temperatura del año.

2.9.5.4. Temperatura fraguada del hormigón

Es la temperatura máxima de construcción del hormigón durante el fraguado durante las primeras 24 horas.

2.9.5.5. Número de días al año con precipitaciones

Número de días en un año promedio, en que se registran precipitaciones.

2.9.5.6. Índice de congelamiento de la base

Porcentaje del tiempo en el año que la base se encuentra a una temperatura inferior a 0°C.

2.10. DOCUMENTACIÓN OPTIPAVE 2

A continuación, se presenta la metodología mecánica empírica utilizada en el desarrollo del software de diseño para losas con geometría optimizada, Optipave 2.

2.10.1. Mecanismos de falla de un pavimento

En este método se consideraron los siguientes 5 mecanismos de falla:

- Agrietamiento transversal en el tercio central de la losa
- Agrietamiento longitudinal
- Agrietamiento en la esquina
- Escalonamiento
- Rugosidad (IRI)

2.10.1.1. Agrietamiento transversal en el tercio central de la losa

Una grieta transversal en el pavimento es una grieta que ocurre en el tercio central de una losa, producto de la fatiga que presenta el material. Esta grieta se origina en la fibra inferior de la losa en el punto del borde de la losa y la mitad longitudinal de la losa.

2.10.1.2. Agrietamiento longitudinal

El agrietamiento longitudinal ocurre por tensiones en la fibra inferior de la losa, y se desarrolla en sentido longitudinal atravesando todo el largo de la losa. La ubicación con respecto al borde en donde se origina la falla depende de varios factores entre los que se encuentran: el ancho de la losa, la magnitud del alabeo de la losa, la configuración del paso de los vehículos (distancia con respecto al borde por el que pasan los vehículos), entre otros.

2.10.1.3. Agrietamiento de esquina

El agrietamiento de esquina ocurre en la fibra superior de la losa, cuya ubicación depende de varios factores. Este se evaluó en diferentes puntos ya que el origen de la falla no siempre ocurre en la misma ubicación. Debido a la importancia del eje tándem en el origen de este tipo de falla, es que se consideró el efecto de ejes simple y el efecto de ejes tándem.

2.10.1.4. Escalonamiento en la junta

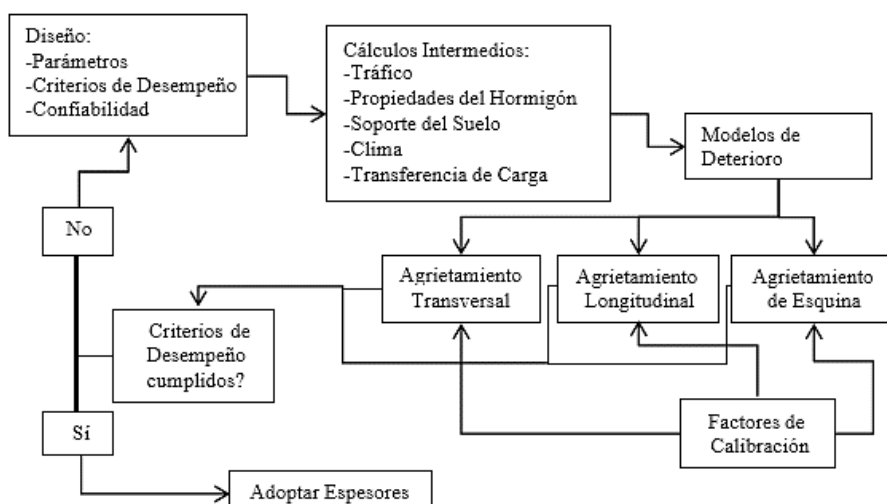
El escalonamiento en la junta transversal es una diferencia de altura entre dos losas debido al movimiento del material de la base.

2.10.1.5. Rugosidad (IRI)

La rugosidad que tiene un pavimento es fundamental a la hora de evaluar el confort que siente un usuario al transitar por un pavimento. El método más utilizado universalmente para medir el nivel de confort que siente un usuario es el índice de rugosidad Internacional (IRI).

En la figura a continuación se método de funcionamiento del programa de diseño Optipave2⁵

Figura 2.25. Diagrama de Flujo del Método de Diseño utilizando Optipave



Fuente: Documento guía de la TCPavements

2.11. 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.

⁵ <http://www.tcpavements.cl/esp/home>

2.11.1. 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)

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

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

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

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.

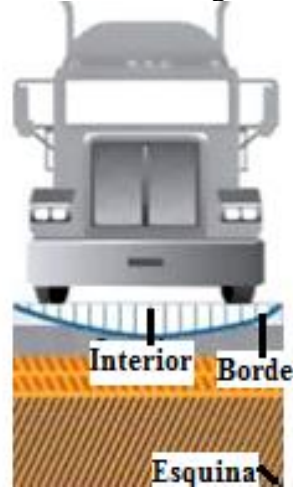
a = Radio del área cargada.

L = Radio de rigidez relativa

b = Radio de la sección resistente.

$$b = 1,6a + h^2 - 0,675(h)$$

Figura 2.2. Localización de cargas en un pavimento



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

2.11.2. Esfuerzos producidos por cambios de temperatura

2.11.2.1. 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

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

Donde:

σ_t = Esfuerzo en el sitio considerado.

E = Módulo elástico del concreto.

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

Δ_t = 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.

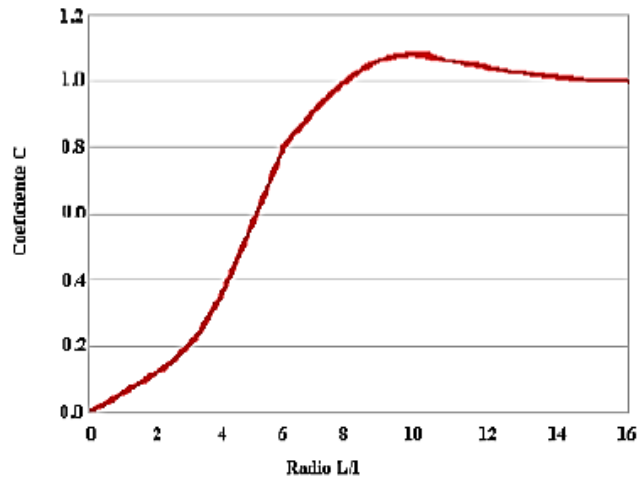
$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12(1 - \mu^2)k}}$$

h = Espesor de la losa.

k = Módulo de reacción de soporte.

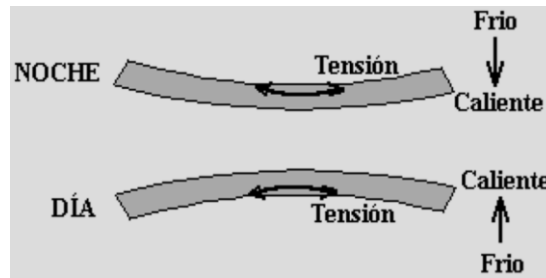
l = Radio de rigidez relativa.

Figura 2.3. Carta de Bradbury para la determinación de C, C1 y C2



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

Figura 2.4. Alabeo provocado por gradiente térmico



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

2.11.2.2. 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:

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

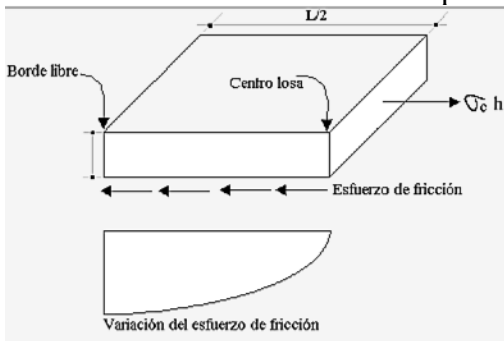
Donde:

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 2.5. Esfuerzos de fricción en el pavimento



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

2.11.2.3. 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 2.21. 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

2.11.3. 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:

2.11.3.1. 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.

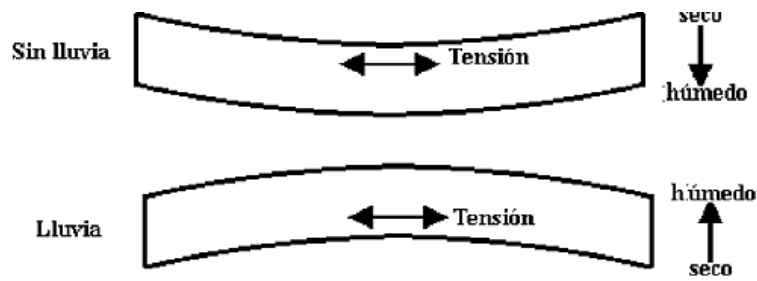
El cambio de volumen causado por la humedad tiene dos efectos importantes en el hormigón:

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.⁶

⁶ Esfuerzos en pavimentos rígidos. Ing. Oscar Canchano Almanza

Figura 2.6. Alabeos causados por la humedad



Fuente: Pavement analysis and design-Yang H. Huang

2.12. TIPOS DE TRÁFICO VEHICULAR

2.12.1. 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.

2.12.2. 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.

2.13. 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.

2.13.1. 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 2.22, 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 2.22. Categorías de tránsito para la selección de espesores

Tipo de vía	TPDs	Ejes acumulados de 8,2 Tn
(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 100000000

Fuente: Manual de diseño de pavimento rígido

Dónde:

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 2.23 y 2.24 se muestran la clasificación que se utiliza actualmente en el Estado de Washington y en Australia, respectivamente, para caminos de bajo volumen.

Tabla 2.23. 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 2.24. 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 ton			

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

2.14. PAVIMENTOS ULTRADELGADOS

Los sistemas de pavimentación en hormigón empleados actualmente se diseñan con losas de ancho igual al ancho de la pista y de largo entre 3,3 y 6 m. Debido a que las losas presentan un alabeo cóncavo producto del gradiente de construcción lo que se traduce en un levantamiento de las esquinas de la losa un camión puede cargar simultáneamente la losa con sus cuatro sets de ruedas. Esta condición produce tensiones de tracción en la superficie de ésta.

La nueva tecnología de diseño y construcción de losas, dimensiona éstas de forma tal que ellas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa. Las tensiones dentro de la losa determinan la vida útil del pavimento, donde tensiones mayores generan un deterioro más rápido en este. Esto produce un menor agrietamiento de las losas del pavimento y una mayor tolerancia a la carga por eje del camión.

El método creado por la empresa TCPavements es el resultado de años de estudios y pruebas, basado en las ecuaciones de daño por fatiga del proyecto NCHRP 1-37^a (ME-PDG, AASHTO, EEUU) y con simulaciones de tensiones realizadas en ISLAB2000 (programa de elementos finitos). Este método logra diseñar pavimentos de losas optimizadas, obteniendo resultados óptimos, para esta nueva condición geométrica

El procedimiento es un método mecanicista - empírico, ya que ha sido calibrado con tramos de pruebas instrumentados, determinando las constantes de calibración. El concepto básico del diseño es dimensionar las losas de tal manera que solo una rueda o set de ruedas se apoyen en una losa, a la vez, calcular el daño por fatiga producido en los puntos críticos de la losa, dado esto, determinar el espesor correspondiente considerando las condiciones de suelo, alabeo, tráfico, y otras condiciones relevantes

El modelo calcula las tensiones críticas que se producen en las losas del pavimento producto de la combinación de las cargas, efectos de temperatura y distintas condiciones de borde. Además, el método incluye verificación para las condiciones del escalonamiento de las juntas transversales sin barras de traspaso de cargas y del agrietamiento de esquina.

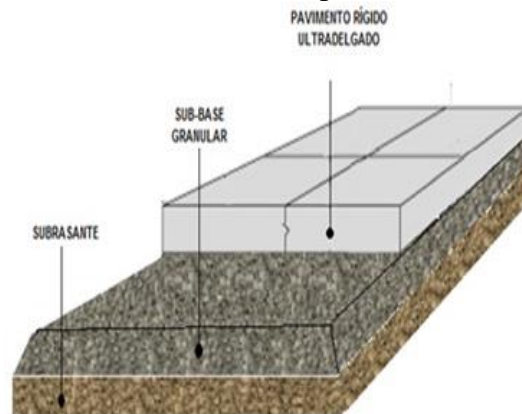
En esta segunda versión, se incorpora el uso de Redes neuronales para la predicción de tensiones, calculo incremental de fatiga en el tiempo y una serie de mejoras para generar un sistema de diseño preciso.

El uso de losas de menores dimensiones y la consiguiente reducción del espesor, requiere una lista de modificaciones en el método de diseño para cumplir de forma satisfactoria la vida de servicio del pavimento. A continuación, se muestra una lista de modificaciones en las especificaciones técnicas que se deben llevar a cabo al utilizar este sistema:

- Debido a un mayor número de juntas de contracción y por lo tanto un menor esfuerzo de contracción en estas juntas es que se recomienda el uso de sierras más delgadas de entre 2 y 2,5 mm, lo que permite omitir sellar la junta, al restringir el ingreso de material incompresible dañino para la junta, lo que limita el desconche en la junta.
- Debido a que se recomienda no sellar las juntas, es necesario tener una base que tenga una cantidad limitada de material fino, lo que resulta en un muy bajo bombeo de finos y por lo tanto que el pavimento no sufra escalonamiento. Es por esto que se recomienda para pavimentos de tráfico pesado, una base con menos de 8% de finos (Material que pasa la malla N°200).
- Para evitar la contaminación de material fino a la base que lleva menos de 8% de finos, una malla geotextil debe ser colocada que actúe como un separador entre la base y el suelo debajo.
- Juntas de contracción de menor ancho permiten una mayor transferencia de carga entre las losas, por lo que utilizar barras de transferencia de carga o barras de amarre no son parte del diseño estándar del sistema. Sin embargo, en juntas de construcción si son necesarias, ya sea en juntas transversales, en que aumentan la transferencia de carga en una junta fría o en juntas longitudinales en que se colocan barras de amarre para evitar la separación de las losas de hormigón. Con el mismo fin es que se hace necesario agregar pines laterales en el pavimento lo que evita movimientos laterales del pavimento, los que pueden ser omitidos en pavimentos con incorporación de fibra estructural en el hormigón.

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 2.7. 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.

2.14.1. Ventajas de los pavimentos ultradelgados

- Pavimentos más durables
- Pavimentos más económicos en Costo Directo (Hormigón y Asfalto)
- Pavimentos con muy bajo costo de mantención
- Pavimentos “Verdes”
 - (a) Utilizan menos Luz que los de asfalto
 - (b) Utilizan menos cemento que los de Hormigón tradicional

- 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.⁷

Figura 2.8. Curado del pavimento ultradelgado



Fuente: Whitetopping. Universidad Politécnica de Ingeniería

2.15. SOFTWARE OPTIPAVE

Software de diseño y evaluación de pavimentos de hormigón, utilizando tecnología TCP®.

Losas de geometría optimizada, considerando el apoyo de una rueda o set de ruedas por losa a la vez.

OptiPave2® es un software de diseño de pavimentos desarrollado por TCPavements. Este software, implementa la [tecnología TCP®](http://www.tcpavements.cl/esp/tecnologia), la cual permite diseñar pavimentos de concreto con losas de geometría optimizada.

El diseño de pavimentos con losas de geometría optimizada, permite reducir tensiones internas en el pavimento, lo que a su vez logra reducir el espesor de este entre 4 y 10cm frente a soluciones tradicionales, ahorrando material de construcción de forma sustancial.

El software funciona en base a un gran número de cálculos de pavimentos con elementos finitos, cuyos resultados fueron calibrados en la Universidad de Illinois, Estados Unidos.

⁷ <http://www.tcpavements.cl/esp/tecnologia>

Este, incluye modelos de deterioro y se puede adaptar a cualquier condición normal de diseño de pavimentos.⁸

2.15.1. VENTANAS DEL PROGRAMA

Figura 2.33. Información del proyecto

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

Project Information Next

Project Name: ESTUDIO DE DIMENSIONAMIENTO Project Description: Dimensionamiento de pavimento rígido ultradelgado para calles de bajo tráfico de la comunidad Colonia Linares-Bermejo.

Route: COLONIA LINARES

Location: BERMEJO

Owner / Agency: U.A.J.S.

Design Engineer: Univ. Luis Ediberto Iporre Rengifo

Software Use

Design a new jointed plain concrete pavement Help

Determine a comparable new asphalt pavement thickness? Option Off

Conduct a life cycle cost analysis (LCCA)? Option Off

Fuente: Programa optipave

Figura 2.34. Información del tráfico

File Units About Check for Updates

Project Traffic Design Details New Pavement Design

Traffic Category / Load Spectrum Next

Typical Traffic Spectrums **ACI 330 Traffic Spectrums** Help

Residential Category A

Collector Category B Custom Traffic Spectrum

Minor Arterial Category C

Major Arterial Category D

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction) Calculate

Traffic Growth Rate % per year Help

Design Life years Help

Directional Distribution % Help

Design Lane Distribution % Help

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life **43**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life **315,049**

Traffic Category: Collector	
kN	Axes / 1000 trucks
Single Axles	
115.6	0.07
106.8	1.6
97.9	2.6
89	6.63
80.1	16.61
71.2	23.88
62.3	47.76
53.4	116.76
44.5	142.7
35.6	233.6
Tandem Axles	
195.7	1.16
177.9	7.76
160.1	38.79
142.3	54.76
124.5	44.43
106.8	30.74
89	45
71.2	59.25
53.4	91.15
35.6	47.01
Tridem Axles (User Defined Only)	
275.8	0
249.1	0
222.4	0
195.7	0
169	0
142.3	0
115.6	0
89	0
62.3	0
35.6	0

Fuente: Programa optipave

⁸ <http://www.tcpavements.cl/esp/home>

Figura 2.35. Detalles de diseño

The screenshot shows the 'New Pavement Design' window with the 'Design Details' tab selected. The 'Concrete' material type is chosen. The 'General Design Inputs' section includes a 'Terminal Serviceability' input set to 2 and a 'Reliability' input set to 90%. The 'Resilient Modulus of the Subgrade' section has the option 'Convert CBR or R-value to MRS' selected, with a 'Calculate' button and a resulting value of 137.50 MPa. A secondary value of 28.4 MPa is also displayed.

Fuente: Programa optipave

Figura 2.36. Detalles de diseño

The screenshot shows the 'New Pavement Design' window with the 'Design Details' tab selected. The 'Asphalt' material type is chosen. The 'Percent of Slabs Cracked at End of Design Life' section has 'Slabs Cracked' set to 5%. The 'Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value)' section has 'Use calculated composite static k-value' selected, with a 'Calculate' button and a resulting value of 297 MPa/m. The 'Concrete Material Properties' section has '28-Day Flexural Strength (MR)' set to 4.7 MPa and 'Modulus of Elasticity (E)' set to 31725 MPa. The 'Edge Support' section has 'Edge support (e.g., tied concrete shoulder, curb and gutter, or widened lane) provided?' set to 'yes'.

Fuente: Programa optipave

Figura 2.37. Diseño del nuevo pavimento

The screenshot shows the 'New Pavement Design' window with the 'Design Details' tab selected. The 'Run Design' button has been clicked. The 'CONCRETE PAVEMENT DESIGN' results are displayed, showing the 'Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value)' as 297 MPa/m. The 'Sensitivity Analysis of Concrete Pavement Design' section has 'k-value' selected. The 'Failure Controlled By' section has 'Doweled' selected. The 'Load Transfer Rec.' and 'Jointing Rec.' buttons are visible.

Fuente: Programa optipave

2.16. FIBRAS METÁLICAS

2.16.1. 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 2.9. 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.

2.16.2. 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.

2.16.3. Características de las fibras metálicas

Tabla 2.25. 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
Ángulo terminación	mínimo 45°
Sección	Circular

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

Tabla 2.26. 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
Ángulo de la onda	mínimo 45 °C
Sección	Circular

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

Tabla 2.27. 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 2.28. Características físicas y técnicas de las fibras metálicas cerradas

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 2.29. 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

2.16.4. 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.

2.16.5. 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.

2.16.6. 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.

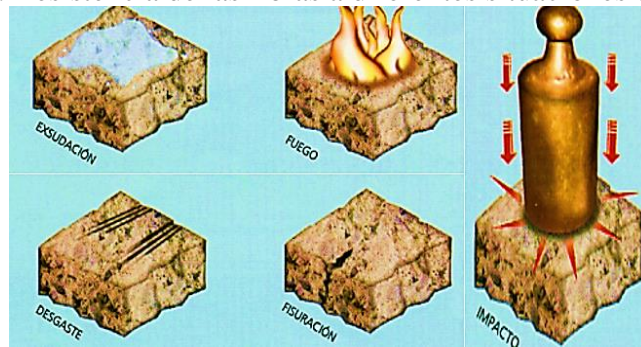
Al fuego. - Con la fundición de las fibras a altas temperaturas, son creados micro-canales que alivian la presión generada por los vapores de agua causantes del fenómeno de “spalling” (término que se le da al fenómeno de desprendimiento que puede ocurrir a las superficies de las capas de miembros de 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 2.39. Resistencia de las fibras a diferentes situaciones desfavorables



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

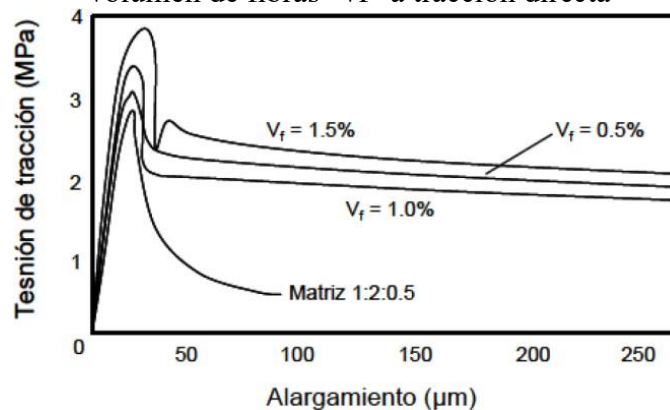
2.16.7. Características mecánicas de las fibras en el hormigón endurecido

Entre las características mecánicas tenemos:

2.16.7.1. Resistencia a tracción

Resistencia a tracción 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 2.40. 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).

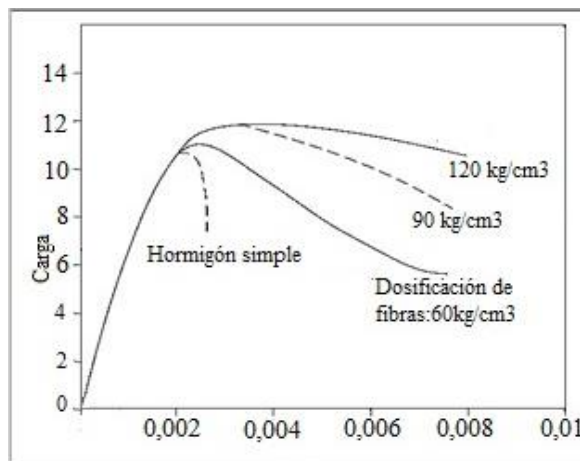
Una adición de fibras del 1,5% del volumen en hormigones o morteros puede suponer incrementos a tracción directa entre el 30 y el 40% (ACI 544. 1R-96, 2009).

2.16.7.2. 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 2.41. Ejemplo de gráfica carga-deformación para hormigones con diferentes cuantías de refuerzo con fibras



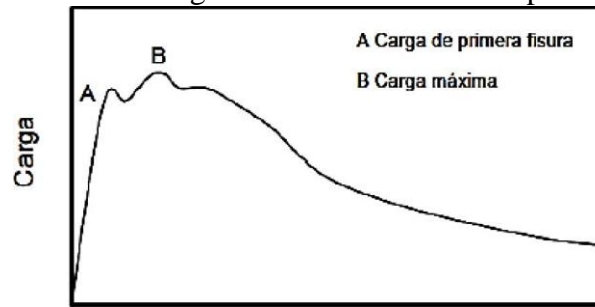
Fuente: Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales. Ing. Marco Eduardo Montalvo

2.16.7.3. 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.

Este 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).

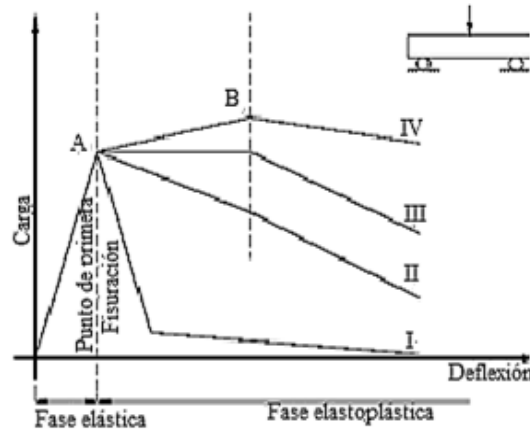
Figura 2.42. Curva carga-flecha a flexo-tracción para un HRFA



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 2.43. 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).

2.16.7.4. 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).

2.16.7.5. 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.

2.16.7.6. Deformación

No obstante, las fibras de polipropileno son mucho más livianas que las de acero, ya que su densidad es de 910 kg/m^3 y las de acero tienen una densidad de 7850 kg/m^3 .

2.16.7.7. 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).

2.16.7.8. 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).

2.16.7.9. 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).

2.16.7.10. 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.⁹

2.17. APLICACIÓN DE PAVIMENTOS ULTRADELGADO CON FIBRAS

2.17.1. 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

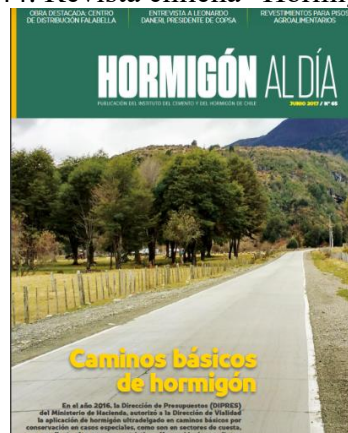
⁹ <https://www.maccaferri.com/br/es/productos/fibras/wirand/>

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 2.44. 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 2.45. 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 2.46. 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 2.47. Cruce Ruta 7 Bahía Murta



Fuente: Instituto del cemento y del hormigón de Chile

CAPÍTULO III

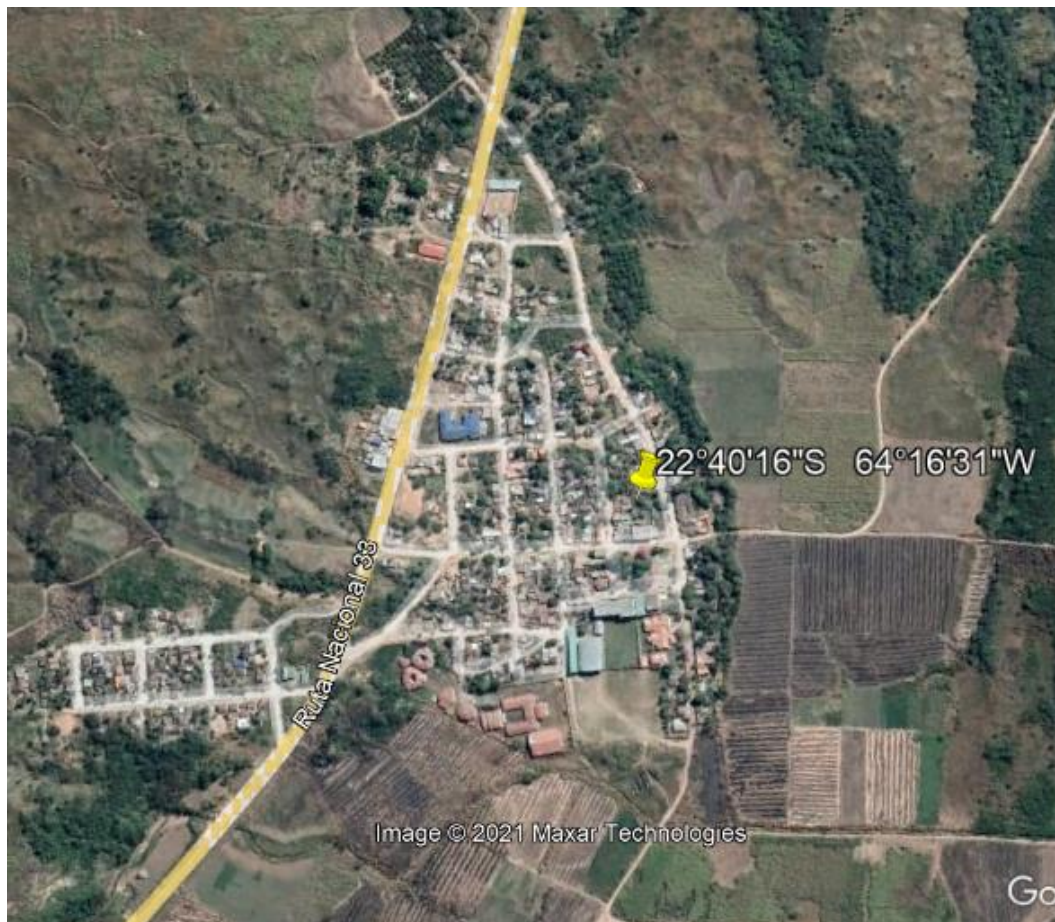
PROYECTO DE APLICACIÓN USO DE PAVIMENTO ULTRADELGADO PARA CALLES DE BAJO TRÁFICO

3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR EN ESTUDIO

La comunidad de estudio se encuentra ubicada a 9,92 km de la ciudad de Bermejo sobre la ruta nacional 33 que conecta hacia el norte con el chaco Boliviano (Yacuiba, Villamontes), al sur con la República Argentina, al este con la República Argentina, al oeste con la ciudad de Tartagal perteneciente a la República Argentina.

Coordenadas de la comunidad Colonia José María Linares $22^{\circ}40'16''S$ $64^{\circ}16'31''W$

Figura 3.1. Vista satelital de la Comunidad Colonia José María Linares



Fuente: Google Earth

Figura 3.2. Calle principal de ingreso a la comunidad



Fuente: Elaboración propia

3.2. RESUMEN CLIMATOLÓGICO

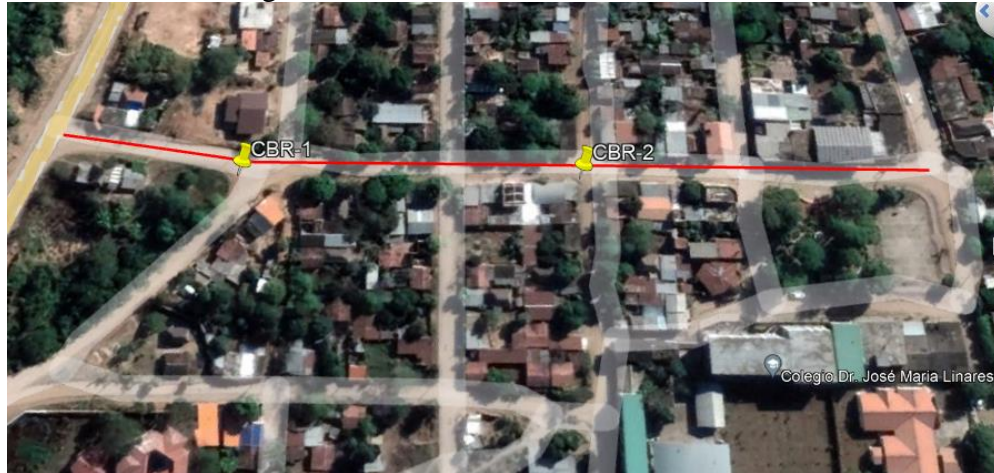
Como la comunidad Colonia Linares es muy cercana a la ciudad de Bermejo se describirá el clima de la ciudad de Bermejo.

Bermejo se encuentra situado a una altura de 415 msnm, con una temperatura media anual de 22,53 °C; sin embargo, el clima de Bermejo se caracteriza por tener temperaturas extremas: muy altas entre septiembre a mayo, llegando a alcanzar los 45 °C, mientras que entre junio a agosto las temperaturas descienden hasta los 10°.

Los meses de lluvias se concentran entre marzo y mayo, por lo que existe un alto grado de humedad. El período de lluvias empieza en octubre y se extiende hasta abril, con una precipitación anual de 1.323,1 mm. Por otra parte, es una zona con bastante vegetación, fauna y flora.

3.3. ESTUDIO DE SUELOS DE LA SUBRASANTE

Figura 3.3. Puntos de extracción muestras



Fuente: Elaboración propia

CBR1, coordenadas: 22°40'18.88"S 64°16'37.91"O

CBR2, coordenadas: 22°40'18.07"S 64°16'33.77"O

La línea roja representa la calle de principal de ingreso a la comunidad que tiene una longitud de 310 metros.

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

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. Juego de tamices y balanza



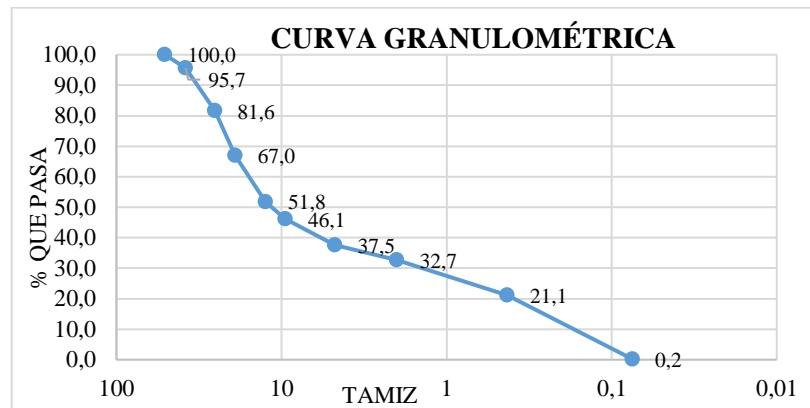
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.1. Granulometría del suelo

Peso Total (gr.) =			4267,9		
Tamiz	Tamaño (mm.)	Peso Retenido (gr.)	Retenido Acumulado		% Que pasa del total
			(gr.)	(%)	
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,0
2"	50,8	0,00	0,00	0,00	100,0
1 1/2"	38,10	182,60	182,60	4,28	95,7
1"	25,40	603,30	785,90	18,41	81,6
3/4"	19,10	622,70	1408,60	33,00	67,0
1/2"	12,50	647,20	2055,80	48,17	51,8
3/8"	9,50	243,40	2299,20	53,87	46,1
Nº4	4,75	367,40	2666,60	62,48	37,5
Nº10	2,00	204,10	2870,70	67,26	32,7
Nº40	0,43	496,80	3367,50	78,90	21,1
Nº200	0,08	890,90	4258,40	99,78	0,2
BASE	0	8,60	4267,00	99,98	0,0
SUMA =		4267,00			
PÉRDIDAS =		0,90			

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5. Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

3.3.4. 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.

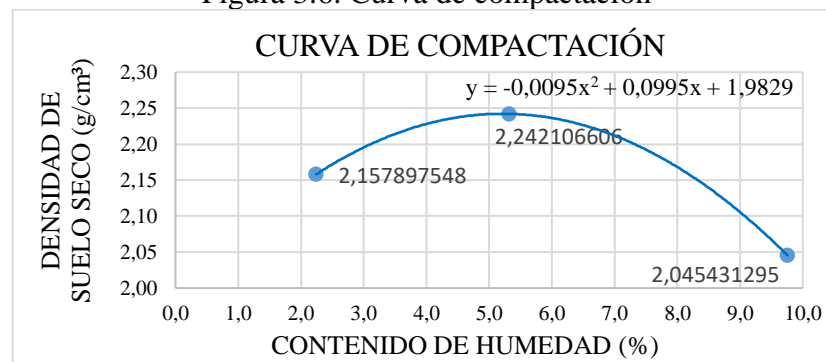
Los métodos usados para la compactación de los suelos dependen del tipo de los materiales con los que se trabaje en este caso; con base en un experimento sencillo los materiales puramente friccionantes, como la arena, se compacta eficientemente por métodos vibratorios, en tanto que en los suelos plásticos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

Tabla 3.2. Compactación Próctor (1) T-180

Número de capas	5	5	5
Número de golpes por capa	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	7442,7	7771,5	7524,8
Peso del molde (gr)	2766,4	2766,4	2766,4
Peso suelo húmedo (gr)	4676,3	5005,1	4758,4
Volumen de la muestra	2119,6	2119,6	2119,6
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	2,21	2,36	2,24
Cápsula Nro.	1	2	3
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	65,07	66,4	75,78
Peso suelo seco + cápsula (gr)	63,94	63,69	70,17
Peso del agua (gr)	1,13	2,71	5,61
Peso de la cápsula	13,52	12,75	12,67
Peso suelo seco (gr)	50,42	50,94	57,50
Contenido de humedad (%h)	2,24	5,32	9,76
Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	2,16	2,24	2,05
Densidad máxima	2,24 gr/cm ³		
Humedad óptima	5,24%		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6. Curva de compactación



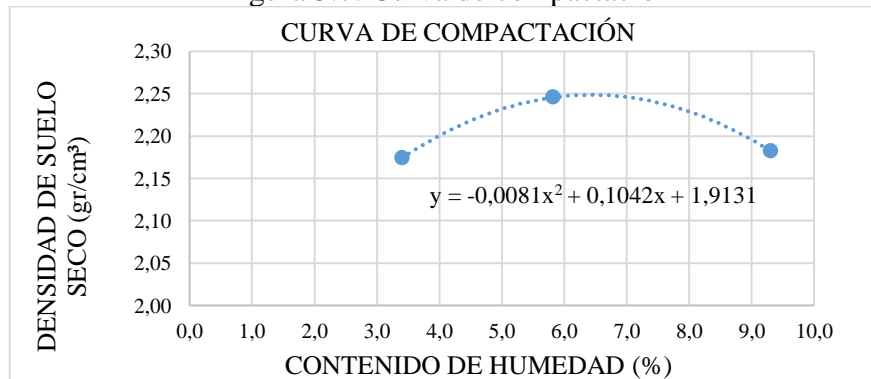
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Compactación próctor (2) T-180

Número de capas	5	5	5
Número de golpes por capa	56	56	56
Peso suelo húmedo + molde (gr)	7435,7	7705,3	7724,5
Peso del molde (gr)	2718,7	2718,7	2718,7
Peso suelo húmedo (gr)	4717	4986,6	5005,8
Volumen de la muestra	2098,5	2098,5	2098,5
Densidad suelo húmedo (gr/cm ³)	2,25	2,38	2,39
Cápsula Nro.	1	2	3
Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	58,2	55,3	48,65
Peso suelo seco + cápsula (gr)	56,7	53	45,7
Peso del agua (gr)	1,5	2,3	2,95
Peso de la cápsula	12,6	13,5	14
Peso suelo seco (gr)	44,1	39,5	31,70
Contenido de humedad (%h)	3,40	5,82	9,31
Densidad de suelo seco (gr/cm ³)	2,17	2,25	2,18
Densidad máxima (gr/cm ³)	2,25		
Humedad optima (%)	6,43		

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Curva de compactación



Fuente: Elaboración propia

3.3.5. 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.

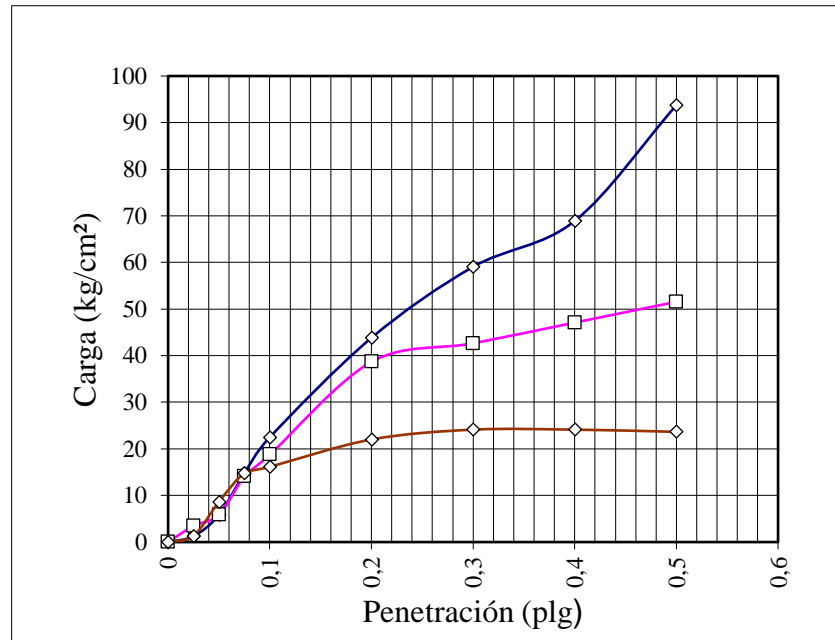
Este procedimiento puede efectuarse en terreno compactado y mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación y luego de haber medido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

Tabla 3.4. Datos y cálculos del ensayo de CBR 1

Nº capas	5			5			5								
Nº golpes por capa	12			25			56								
Condición de muestra	Antes de mojar	D. de m.		Antes de mojar	D. de m.		Antes de mojar	D. de m.							
Peso muestra húm. +molde	12020,1	11365		11238,1	11200		13095,2	11005							
Peso molde	7340,9	7180		6296	6574		7988	6680							
Peso muestra húmeda	4679,2	4185		4942,1	4626		5107	4325							
Volumen de la muestra	3227,5	3210		3242,1	3210		3182,3	3210							
Peso unit. muestra húm.	1,4498	1,304		1,5244	1,441		1,6049	1,347							
Muestra de humedad	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.						
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
Peso muestra húm + tara	43,9	80,1	65,85	52	51,2	57,2	53,2	54,6	76,1						
Peso muestra seca + tara	42,3	76,4	61,6	49,1	49,2	54,1	51,1	53	73,1						
Peso del agua	1,6	3,7	4,25	2,9	2	3,1	2,1	1,6	3						
Peso de tara	13,6	14	12,3	12,6	13,4	13,3	12,5	13,8	13,3						
Peso de la muestra seca	28,7	62,4	49,3	36,5	35,8	40,8	38,6	39,2	59,8						
Contenido humedad %	5,57	5,93	8,62	7,95	5,59	7,6	5,44	4,08	5,02						
Promedio cont. humedad	5,75		8,62	6,77		7,6	4,76		5,02						
Peso unit. muestra seca	1,3709		1,2	1,4278		1,34	1,532		1,28						
Expansión															
Fecha	Hora	Tiempo en días	Molde Nº 1			Molde Nº 2			Molde Nº 3						
			Lect.	Expansión		Lect.	Expansión		Lect.	Expansión					
			Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%				
	17:00	1	24,2	2,42	0	24,3	2,43	0	23,57	2,357	0				
	17:00	2	24,93	2,493	0,411	24,34	2,43	0,022	25,56	2,556	1,119				
	17:00	3	25,25	2,525	0,591	24,37	2,44	0,039	25,7	2,57	1,198				
	17:00	4	26,2	2,62	1,125	24,72	2,47	0,236	26,23	2,623	1,496				
CBR															
Penetración		Carga		Molde Nº 1				Molde Nº 2				Molde Nº 3			
		Normal		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	0		0	0			0	0			0	0			
0,025	0,63		18,88	0,98			60,65	3,313			17,52	0,91			
0,05	1,27		160,5	8,29			106,1	5,48			106,1	5,48			
0,075	1,9		278,6	14,39			265	13,69			278,6	14,39			
0,1	2,54	1360	305,8	15,8		22,3	355,8	18,38		26,26	428,4	22,13		31,6	
0,2	5,08	2040	419,3	21,66		20,6	741,7	38,32		36,49	841,6	43,48		41,4	
0,3	7,62		460,2	23,78			818,9	42,31			1137	58,73			
0,4	10,16		460,2	23,78			905,1	46,76			1327	68,58			
0,5	12,7		451,1	23,31			991,4	51,22			1809	93,44			

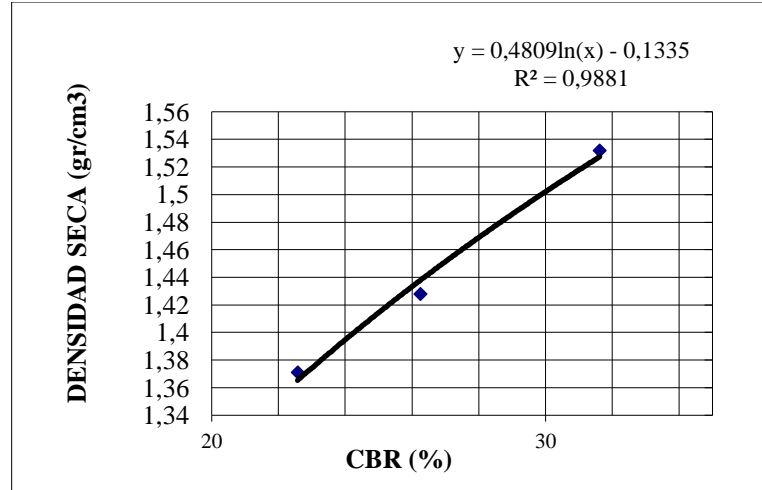
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8. Curva carga vs Penetración



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.9. CBR vs Peso unitario



CBR 100% Densidad máx.
79,86 %
CBR 95% Densidad máx.
63,27 %

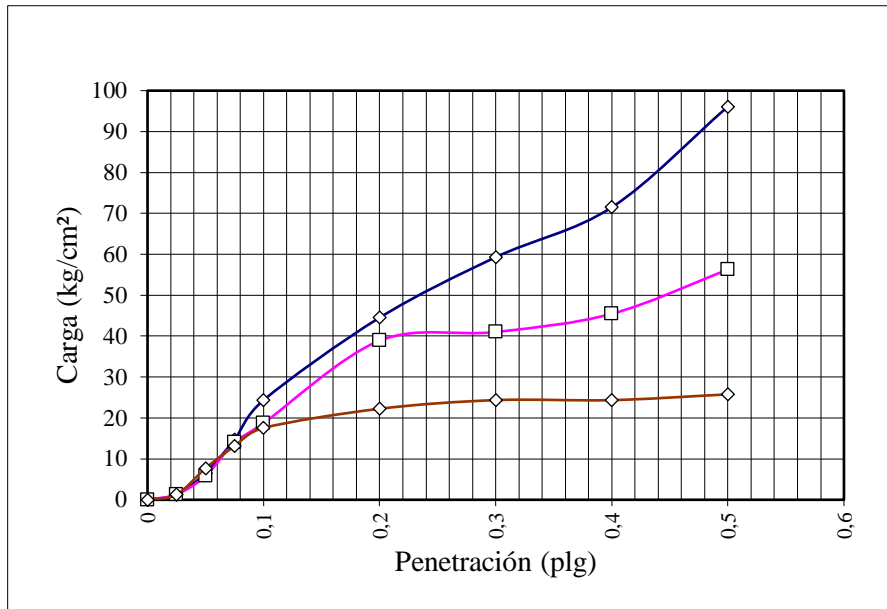
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Datos y cálculos del ensayo de CBR 2

Nº capas	5			5			5							
Nº 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	11610		11365	11465		11200	13140		11005					
Peso molde	6985		7180	6625		6574	7960		6680					
Peso muestra húmeda	4625		4185	4840		4626	5180		4325					
Volumen de la muestra	3211,00		3210	3211,00		3210	3211,00		3210					
Peso unit. muestra húm.	1,4404		1,304	1,5073		1,441	1,6132		1,347					
Muestra de humedad	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.	Fondo	Sup.	2" Sup.					
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
Peso muestra húm + tara	41,50	74,80	65,85	65,00	80,20	57,2	58,40	56,80	76,1					
Peso muestra seca + tara	40,10	71,50	61,6	61,50	76,50	54,1	56,00	54,50	73,1					
Peso del agua	1,40	3,30	4,25	3,50	3,70	3,1	2,40	2,30	3					
Peso de tara	12,80	13,50	12,3	14,00	13,00	13,3	12,50	13,80	13,3					
Peso de la muestra seca	27,30	58,00	49,3	47,50	63,50	40,8	43,50	40,70	59,8					
Contenido humedad %	5,13	5,69	8,62	7,37	5,83	7,6	5,52	5,65	5,02					
Promedio cont. humedad	5,41		8,62	6,6		7,6	5,58		5,02					
Peso unit. muestra seca	1,37		1,2	1,41		1,34	1,53		1,28					
Expansión														
Fecha	Hora	Tiempo en días	Molde Nº 1			Molde Nº 2			Molde Nº 3					
			Lect.	Expansión		Lect.	Expansión		Lect.	Expansión				
			Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%	Extens.	cm.	%			
	17:00	1	22,77	2,277	0	24,66	2,47	0	24,41	2,441	0			
	17:00	2	23,41	2,341	0,36	24,71	2,47	0,0281	24,60	2,46	0,1069			
	17:00	3	23,44	2,344	0,377	24,78	2,48	0,0675	24,63	2,463	0,1237			
	17:00	4	23,44	2,344	0,377	24,82	2,48	0,09	24,63	2,463	0,1294			
CBR														
Penetración		Carga	Molde Nº 1				Molde Nº 2				Molde Nº 3			
		Normal	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	0		0	0			0	0			0	0		
0,025	0,63		17,52	0,91			18,88	0,98			17,52	0,91		
0,05	1,27		142,37	7,36			106,1	5,48			142,37	7,36		
0,075	1,9		246,797	12,75			265	13,69			246,79	12,75		
0,1	2,54	1360	333,059	17,21		24,6	355,8	18,38		26,26	333,05	17,21		34,3
0,2	5,08	2040	423,861	21,90		20,9	746,2	38,55		36,72	423,86	21,90		42,1
0,3	7,62		464,722	24,01			787,1	40,67			464,72	24,01		
0,4	10,16		464,722	24,01			873,3	45,12			464,72	24,01		
0,5	12,7		491,963	25,42			1082	55,91			491,96	25,42		

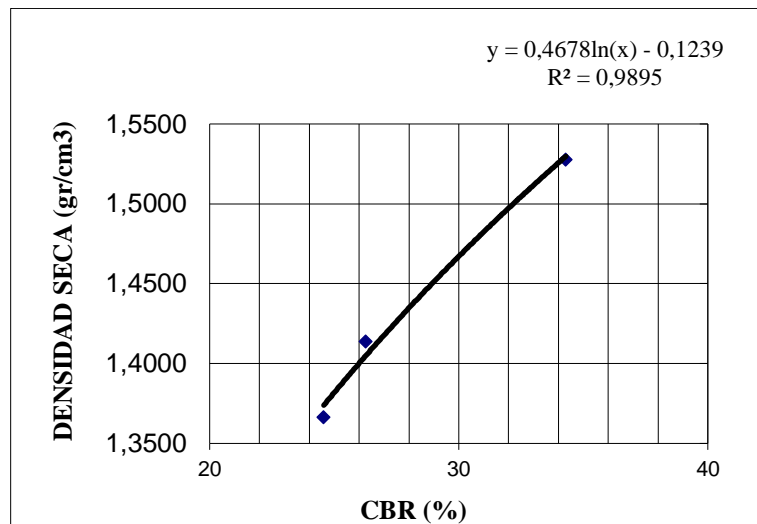
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10. Curva carga vs Penetración



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11. Curva CBR vs Peso unitario



CBR 100% Densidad máx.
94,15 %
CBR 95% Densidad Máx.
74,03 %

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 del río Tarija que se encuentra ubicada en las afueras de la ciudad de Bermejo y queda cerca de la comunidad Colonia Linares que es el área de estudio.

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 3.12. Tamizado en el Rop-Tap



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.13. Agregado fino y agregado grueso



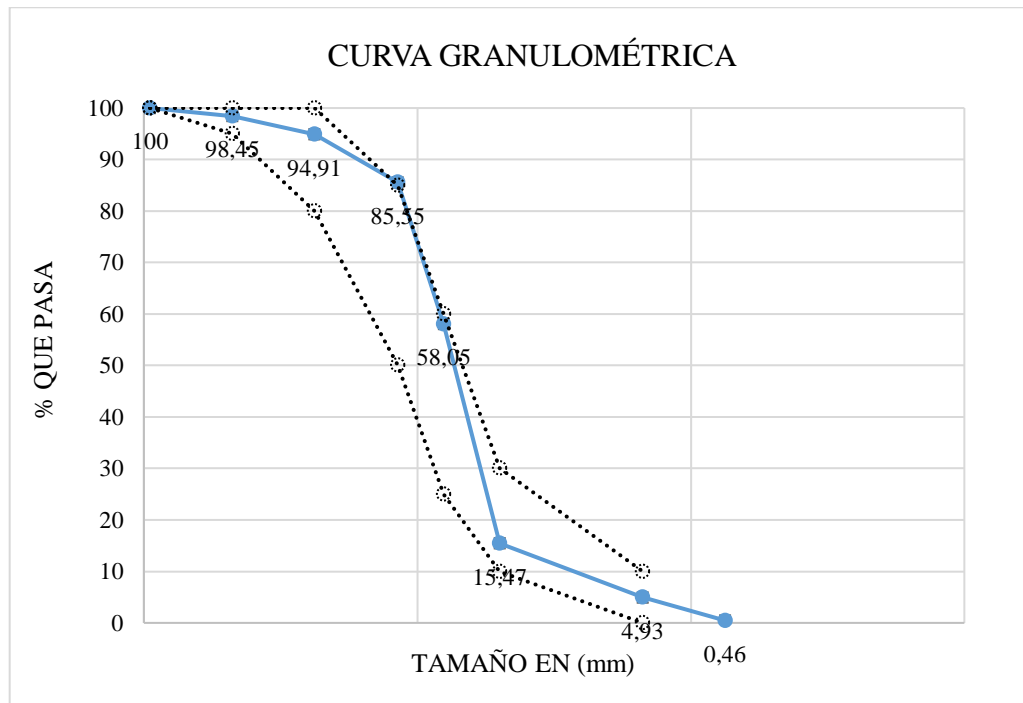
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Granulometría del agregado fino (arena)

Peso total (gr)		1000			% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Peso ret. acumulado (gr)	(%)			
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,0	100	100
N°4	4,75	15,50	15,50	1,55	98,5	95	100
N°8	2,38	35,40	50,90	5,09	94,9	80	100
N°16	1,18	93,60	144,50	14,45	85,6	50	85
N°30	0,80	275,00	419,50	41,95	58,1	25	60
N°50	0,50	425,80	845,30	84,53	15,5	10	30
N°100	0,15	105,40	950,70	95,07	4,9	2	10
N°200	0,075	44,70	995,40	99,54	0,5		
BASE		2,50	997,90	99,79	0,2		
Suma =		997,9					
Pérdidas =		2,1					
Módulo de finura MF =		2,43					

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14. Curva granulométrica del agregado fino



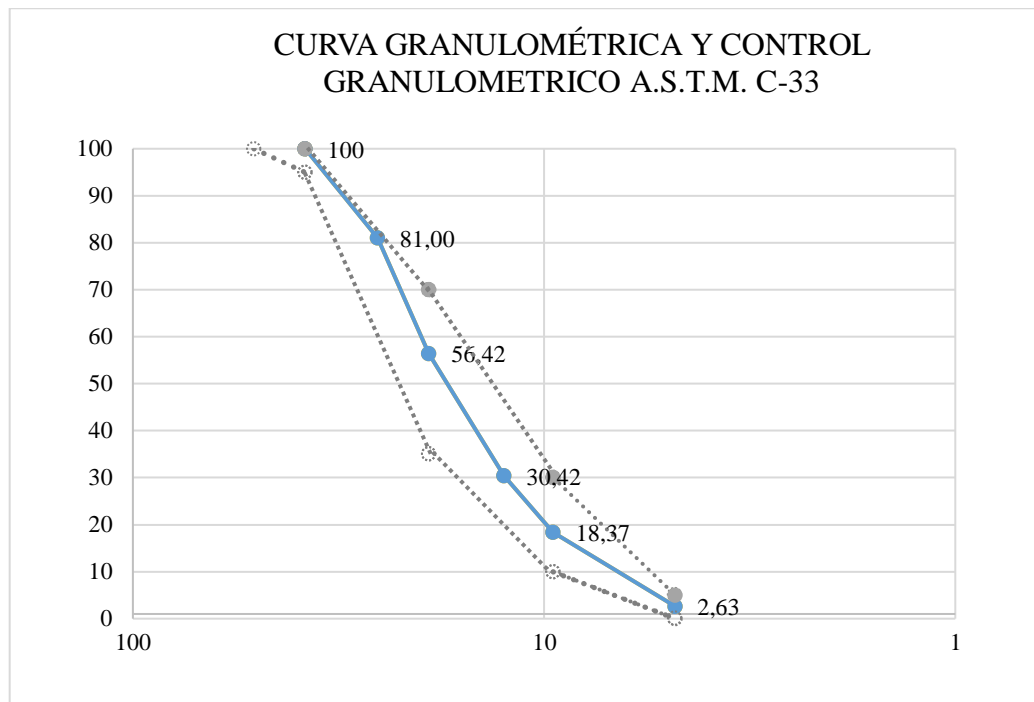
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.7. Granulometría del agregado grueso (grava)

Peso Total (gr.) =		9500					
Tamiz	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr.)	Ret. Acumulado		% Que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0	0	0	100	100	100
2"	50,8	0	0	0	100	100	100
1 1/2"	38,1	0	0	0	100	95	100
1"	25,4	1805	1805	19	81,00		
3/4"	19,05	2335	4140	43,5789	56,42	35	70
1/2"	12,5	2470	6610	69,5789	30,42		
3/8"	9,5	1145	7755	81,6316	18,37	10	30
N°4	4,8	1495	9250	97,3684	2,63	0	5
BASE	0	95	9345	98,3684	1,63		
SUMA =		9345					
PÉRDIDAS =		155					
MF =		7,23					

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.15. 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 3.16. Peso específico de la arena



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Peso específico del agregado fino (arena)

N°	Peso muestra (gr)	Peso matraz (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.
1	500	222,1	1024,6	302,50	495,80	500,00	2,51	2,53	2,56	0,84
2	500	227,3	1015,4	288,10	497,10	500,00	2,35	2,36	2,38	0,58
3	500	225	1015,6	290,60	496,20	500,00	2,37	2,39	2,41	0,76
PROMEDIO							2,41	2,43	2,45	0,73

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9. Peso específico del agregado grueso (grava)

MUESTRA N°	Peso de la muestra secada "A" (gr)	Peso de muestra secada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada 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	4950,40	5000,00	3130,00	2,65	2,67	2,72	1,00
2	4951,10	5000,00	3120,00	2,63	2,66	2,70	0,99
3	4950,10	5000,00	3130,00	2,65	2,67	2,72	1,01
PROMEDIO				2,64	2,67	2,71	1,00

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 3.17. Peso unitario de la grava



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.18. Peso unitario de la grava



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10. 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	2605	3033,59	7305	4700	1,549
2	2605	3033,59	7300	4695	1,548
3	2605	3033,59	7280	4675	1,541
Promedio					1,546

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11. 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	2605	3033,59	7650	5045	1,663
2	2605	3033,59	7665	5060	1,668
3	2605	3033,59	7670	5065	1,670
Promedio					1,667

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Peso unitario suelto 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	5720	9977,16	21375	15655	1,569
2	5720	9977,16	21430	15710	1,575
3	5720	9977,16	21300	15580	1,562
Promedio					1,568

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13. 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	5720	9977,16	22255	16535	1,657
2	5720	9977,16	22525	16805	1,684
3	5720	9977,16	22450	16730	1,677
Promedio					1,673

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 3.19. Muestra de cemento



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. 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	13,6%
Peso retenido en tamiz N°200	gr	7,80	6,50	6,10	
Peso retenido en la base	gr	41,58	43,06	42,70	
Finura del cemento (F)	%	15,6	13,00	12,20	

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 3.20. Vaciamos el cemento en gasolina



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.15. 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.

3.5. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN POR EL MÉTODO ACI-211

3.5.1. Características de los agregados

Tabla 3.16. Datos del material granular y el cemento

Datos obtenidos de los ensayos	Unidad	Valor
1. Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,43
2. Peso unitario compactado de la grava (PUC)	kg/m ³	1673
3. Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³	2,37
4. Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³	4,84
5. Absorción de la arena (A _a)	%	0,59
6. Absorción de la grava (A _g)	%	1,0
7. Humedad de la arena (H _a)	%	0,24
8. Humedad de la grava (H _g)	%	0,17
9. Tamaño máximo nominal (TMN)	plg	1"
10. Tamaño máximo (TM)	plg	11/2"
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_{ck}') = 280 kg/cm²

Resistencia característica (f_{ck}) (Tabla 2.5) = 365 kg/cm²

Asentamiento (S) (Tabla 2.6) = 1 plg

Relación agua / cemento (a/c) (Tabla 2.7) = 0,48 s/u

3.5.3. Datos de tablas

Vol. agregado grueso / vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 2.8) = 0,75 s/u

Requerimiento de agua (A) (Tabla 2.9) = 150 kg/m³

3.5.4. Cálculos

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

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

$$\text{PAG} = 0,75 \times 1673$$

$$\text{PAG} = 1254,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

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

PUC = Peso unitario compactado de la grava

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

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

$$\text{PC} = \frac{150}{0,48}$$

$$\text{PC} = 312,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

A = Requerimiento de agua

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

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

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

$$\text{VAG} = \frac{1254,75}{2,71}$$

$$\text{VAG} = 462,27 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

γ_g = Peso específico de la grava

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

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

$$\text{VC} = \frac{312,50}{3,149}$$

$$\text{VC} = 99,24 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

PC = Peso cemento

γ_c = Peso específico del cemento

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

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

$$\text{VAF} = 1000 - 99,24 - 150 - 462,27$$

$$\text{VAF} = 288,49 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

VAG = Volumen de agregado grueso

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

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

$$\text{PAF} = 288,49 \times 2,45$$

$$\text{PAF} = 707,46 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

γ_f = Peso específico de la arena

3.5.5. Pesos secos de los ingredientes por m^3 de concreto

Tabla 3.17. Materiales para 1m^3 de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m^3	Volumen absoluto lt/m^3	Peso específico gr/cm^3
Cemento	312,50	99,24	3,149
Agua	150,00	150	1
Grava	1254,75	462,27	2,71
Arena	707,46	288,49	2,45
Total	2424,71	1000,00	

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.6. Pesos húmedos de los materiales

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

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

$$\text{PHA} = 707,46 \times \left(1 + \frac{0,24}{100}\right)$$

$$\text{PHA} = 709,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

PAF = Peso del agregado fino

Ha = Humedad de la arena

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

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

$$\text{PHG} = 1254,75 * (1 + \frac{0,17}{100})$$

$$\text{PHG} = 1256,88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

Hg = Humedad de la grava

3.5.7. Corrección del agua

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

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

$$\text{ACG} = 1254,75 * (\frac{1}{100} - \frac{0,73}{100})$$

$$\text{ACG} = 10,41 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

Ag = Absorción de la grava

Hg = Humedad de la grava

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

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

$$\text{ACF} = 707,46 * (\frac{0,73}{100} - \frac{0,24}{100})$$

$$\text{ACF} = 3,44 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

Donde:

Aa = Absorción de la arena

Ha = Humedad de la arena

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

$$ATC = ACG + ACF$$

$$ATC = 10,41 + 3,44$$

$$ATC = 13,86 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}$$

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 3.18. Material para 1 m³ de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m ³	Peso húmedo kg/m ³
Cemento	312,50	312,50
Agua	150	136,14
Grava	1254,75	1256,88
Arena	707,46	709,16
Total	2424,71	2414,69

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.9. Proporciones de mezcla

$$\text{Proporción cemento} = \frac{312,50}{312,50} = 1,00$$

$$\text{Proporción arena} = \frac{1164,75}{312,50} = 2,3$$

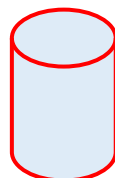
$$\text{Proporción grava} = \frac{1254,75}{312,50} = 4,0$$

Cemento	Arena	Grava
1,00	2,3	4,0

3.5.10. Dosificación para las probetas cilíndricas

Datos:

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



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

$$\text{Peso cemento} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 312,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 312,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso cemento} = 1,82 \text{ kg}$$

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

$$\text{Peso agua} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 139,51 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 139,51 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso agua} = 0,76 \text{ kg}$$

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

$$\text{Peso grava} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 1256,88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 1256,88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso grava} = 7,33 \text{ kg}$$

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

$$\text{Peso arena} = \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 707,46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,0053014 \text{ m}^3 \times 707,46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso arena} = 4,13 \text{ kg}$$

Tabla 3.19. Dosificación para 1 probeta cilíndrica

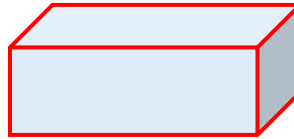
Material	kg para 1 probeta
Cemento	1,82
Agua	0,76
Grava	7,33
Arena	4,13
Total	14,04

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.11. Dosificación para las vigas

DATOS:

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



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

$$\text{Peso cemento} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 312,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 312,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso cemento} = 3,87\text{kg}$$

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

$$\text{Peso agua} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 136,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 136,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso agua} = 1,69\text{kg}$$

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

$$\text{Peso grava} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 1256,88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 1256,88 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso grava} = 15,55\text{kg}$$

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

$$\text{Peso arena} = \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 707,46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) + \left(0,01125 \text{ m}^3 \times 707,46 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10}{100} \right)$$

$$\text{Peso arena} = 8,76\text{kg}$$

Tabla 3.20. Dosificación para 1 viga estándar

Material	kg para 1 viga
Cemento	3,87
Agua	1,69
Grava	15,55
Arena	8,76
Total	29,87

Fuente: Manual para el método ACI-211

3.5.12. 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:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ m}^3 &\rightarrow 15000 \text{ gr} \\
 0.0053014 \text{ m}^3 &\rightarrow x \\
 X &= \frac{0,0053014 \text{ m}^3 * 15000 \text{ gr}}{1 \text{ m}^3} \\
 X &= 79,52 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Datos para 1 viga estándar:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ m}^3 &\rightarrow 15000 \text{ gr} \\
 0.01125 \text{ m}^3 &\rightarrow x \\
 X &= \frac{0,01125 \text{ m}^3 * 15000 \text{ gr}}{1 \text{ m}^3} \\
 X &= 168,75 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

3.6. USO DEL SOFTWARE OPTIPAVE PARA EL CÁLCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO ULTRADELGADO

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) Inicio del programa donde se debe llenar el nombre del proyecto, ruta, lugar, propietario o agencia y quien lo diseña.

También hay un espacio donde se puede colocar una breve descripción del proyecto que se va a realizar.

Figura 3.21. Información de proyecto

Información de proyecto

Nombre de proyecto	<input type="text" value="DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR"/>	Project Description	<input type="text" value="DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO RIGIDO ULTRADELGADO"/>
Ruta	<input type="text" value="COMUNIDAD COLONIA LINARES"/>		
Ubicación	<input type="text" value="COMUNIDAD COLONIA LIANRES"/>		
Propietario/Agencia	<input type="text" value="UAJMS"/>		
Ingeniero de diseño	<input type="text" value="Univ. Luis E. Iporre Rengifo"/>		

Fuente: Elaboración propia

Luego se debe seleccionar el tipo de uso y se seleccionará el diseño de un nuevo pavimento de hormigón

Figura 3.22. Uso del software

Software Use

Diseño de un nuevo pavimento de

Determinar un espesor de pavimento de asfalto nuevo comparable

Realizar un análisis de ciclo del costo de vida

Fuente: Elaboración propia

3.6.1. Tráfico de camiones durante la vida útil de diseño

a) Obtener el TPD de la vía en estudio.

Tabla 3.21. Resumen de aforo vehicular

Días	Liviano	Mediano	Pesado	Total
Lunes	165	26	19	210
Martes	152	27	20	199
Miércoles	153	23	17	193
Jueves	142	24	22	188
Viernes	150	29	23	202
Sábado	139	27	15	181
Domingo	93	28	9	130
Tot. semanal	994	184	125	
Tot. Veh.	1303			
TPD	142	26	18	186
%	76,3	14,1	9,6	100

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el dato de cuanta los vehículos circulan por día el programa tiene rangos del tipo de camino según la cantidad de vehículos

Figura 3.23. Categoría de tráfico del software

Categoría de tráfico	Descripción	Tráfico			Cargas máxima por eje (kn)	
		ADT	% Camiones	TDA**	Ejes simples	Ejes tandem
Residencial	Calles residenciales, caminos rurales y secundarias (baja a media)	50-800	1%-3%	1-20	97,9	160,1
Colector	Calles colectoras, vías rurales secundarias (altas), calles arteriales y vías primarias (bajas)	700-5000	3%-15%	40-1000	115,7	195,7
Arterial menor	Calles arteriales y vías primarias (medias), autopista e interestatales urbanas y rurales (baja a media)	3000-15000+	5%-25%	300-5000+	133,4	231,3
Arterial mayor	Calles arteriales, vías primarias, vías rápidas (altas), interestatales urbanas y rurales (medias a altas)	4000-50000+	10%-30%	700-10000+	151,2	266,9

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.24. Categoría de tráfico

Espectros típicos tráfico ACI 330 Espectros de tráfico Help

Residencial Categoría A
 Colector Categoría B Custom Traffic Spectrum
 Arterial menor Categoría C
 Arterial mayor Categoría D

Fuente: Elaboración propia

b) Tráfico de camiones sobre la vida de diseño del pavimento.

En esta parte el programa calcula el porcentaje de camiones que circularan durante todo el periodo de diseño.

Figura 3.25. Cálculo de camiones por día

ADTT (Tráfico promedio diario de camiones, en dos sentidos o AADTT (Promedio anual de tráfico de camiones, en dos sentidos) 18
 ADT (Tráfico promedio diario, en dos sentidos) o AADT (Tráfico diario promedio anual, en dos sentidos) 186
 % Camiones 9.60

Camiones por día (ida y vuelta, al momento de la construcción) **18**

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Cálculo de total de camiones

Promedio de camiones por día durante la vida útil de diseño **11**

Total camiones durante la vida útil de diseño **79,872**

Fuente: Elaboración propia

c) Se debe colocar una tasa del crecimiento del tráfico para un rango típico de 1 a 3 %.

Tabla 3.22. Tabla índice de crecimiento vehicular

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

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

Figura 3.27. Tasa de crecimiento vehicular

Tasa de crecimiento de tráfico % por año [Help](#)

La tasa crecimiento anual predeterminada es del 2%; el rango típico es 1-3%.
Siendo la tasa de crecimiento anual (por ejemplo, %por año), el volumen de tráfico se compone anualmente utilizando esta tasa.

Fuente: Elaboración propia

d) Según el tipo de vía en estudio elegir el periodo de análisis, según la tabla:

Tabla 3.1. 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

Figura 3.28. Vida de diseño

Vida de diseño años [Help](#)

La vida útil esperada de los diversos tratamientos de construcción y conservación/rehabilitación disponibles depende en gran medida de si las secciones del pavimento serán de nueva construcción, reconstrucción o una superposición de un pavimento existente. Por ejemplo, los periodos de rendimiento típicos para pavimentos de asfalto nuevos y pavimentos de homigón nuevos son de 8 a 25 años y de 20 a 40 años, respectivamente. Al diseñar un nuevo pavimento de asfalto comparable, las vidas útiles del diseño deben ser iguales para las alternativas de asfalto y concreto para generar diseños comparables.

Fuente: Elaboración propia

e) Diseño a dos direcciones por lo tanto 50% para cada carril ya que se diseña por carril.

Figura 3.29. Distribución de dirección

Distribución direccional % [Help](#)

La distribución direccional suele ser 50% (una división de 50-50 entre el tráfico que va en cada dirección en la calzada). Pero en algunos casos, una diferencia en los patrones de tráfico puede requerir una distribución direccional diferente al 50%, como que un área en particular genere más viajes durante un largo periodo de tiempo que la cantidad de viajes que atrae.

Fuente: Elaboración propia

f) diseño de distribución de carril como a dos carriles se dice que el 100 por ciento del tráfico va actuar en cada carril.

Figura 3.30. Distribución de carriles de diseño

Distribución de carriles de diseño %

una dirección que utilizan más un carril de la calzada. Por ejemplo, en carreteras divididas de 4 carriles, el 90% del tráfico en promedio utiliza el carril derecho (o carril de conducción) y el 10% del tráfico utiliza el carril izquierdo (o carril de adelantamiento). La tabla enumera el porcentaje de camiones que usan el carril de diseño, según el número de carriles en ambas direcciones:

Número de carriles	Distribución de carriles de diseño recomendada (%)	Rango recomendado para la distribución de carriles de diseño (%)
2	100	100

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Detalles de diseño

Entradas de diseño general

a) Serviciabilidad final y nos dice que dependiendo de la serviciabilidad nos da un porcentaje del cuanto por ciento estará fisurada al final del periodo de diseño.

Tabla 3.24. Serviciabilidad final

Serviciabilidad final	Clasificación de carreteras o calles	Porcentaje recomendado, losas agrietadas al final de la vida útil
2,50	Interestatales, autopistas principales y arteriales mayor	5%
2,25	carreteras primarias arteriales secundarias, industriales, pavimentos y calles comerciales	15%
2,00	carreteras secundarias, colectoras y calles residenciales	15-25%
1,50	falla total del pavimento	N/A

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

Figura 3.31. Serviciabilidad final

Entrada general de diseño

Serviciabilidad terminal

La capacidad de servicio es una medida de la condición del pavimento. Fue diseñado para la prueba de carretera AASHTO, que se llevó a cabo entre 1958 y 1960 en Ottawa, Illinois. La serviciabilidad de un pavimento se califica en una escala de 0 (totalmente intransitable) a 5 (perfecto estado del pavimento). La capacidad de servicio terminal es el punto en el que el pavimento necesita algún tipo de rehabilitación, como restauración, repavimentación o reconstrucción. Ver tabla 3.24

Fuente: Elaboración propia

b) Confiabilidad

Tabla 3.25. Nivel de confiabilidad

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

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

Figura 3.32. Confiabilidad

Confiabilidad %

La confiabilidad, en pocas palabras, es el factor de seguridad del diseño del pavimento. Es una medida de la probabilidad de que el diseño especificado funcione antes de "fallar". En los pavimentos de hormigón, eso significa que "fallará" ya sea por fatiga (grietas) o por erosión.

Fuente: Elaboración propia

c) Módulo de resiliente de la subrasante el programa calcula este valor con el cbr de la subrasante.

Figura 3.33. Módulo de resiliente de la subrasante

MRSg

California Bearing Ratio (CBR)

Valor de resistencia (valor R)

Módulo de resiliente estimado de la subrasante 228.84 MPa

Save MRSg and Close Window

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1. Hormigón

a) Porcentaje de agrietamiento al final de la vida útil de diseño.

Figura 3.34. Porcentaje de losas agrietadas
— Porcentaje de losas agrietadas al final de la vida útil del diseño —

Losas agrietadas	<input type="text" value="15"/>	%
------------------	---------------------------------	---

Fuente: Elaboración propia

b) Módulo de reacción de la subrasante.

Este valor lo calcula dependiendo de cuantas capas habrá entre la subrasante y el pavimento de hormigón se debe seleccionar el tipo de subbase

Figura 3.35. Módulo de reacción k estático

Paso 1: De arriba hacia abajo, ingrese el módulo de elasticidad de la(s) subbase(s) y número de capas entre subrasante y el pavimento de hormigón :

	<input type="text" value="1 capa"/>	▼
Capa Sup.	<input type="text" value="Subbase no estabilizada (p. ej., arena/grava, piedra triturada)"/>	
Modulo de elasticidad de la capa	<input type="text" value="310.00"/>	MPa
Rango permitido	100-310	
Grosor de la capa	<input type="text" value="150"/>	mm.
Capa 2	<input type="text" value="Elegir capa"/>	
Modulo de elasticidad de la capa	<input type="text" value="0"/>	MPa
Rango permitido		
Grosor de la capa	<input type="text" value="0"/>	mm.
Capa 3	<input type="text" value="Elegir capa"/>	
Modulo de elasticidad de la capa	<input type="text" value="0"/>	MPa
Rango permitido		
Grosor de la capa	<input type="text" value="0"/>	mm.

Valor compuesto k estático calculado	<input type="text" value="397.8"/>	MPa/m
--------------------------------------	------------------------------------	-------

Fuente: Elaboración propia

c) Resistencia a la flexión del hormigón a 28 días

Figura 3.36. Resistencia a flexión

Propiedades del material de hormigón

Resistencia a la flexión de 28 días (MR) MPa

¿Macrofibras en el hormigón?

Fuerza residual %

Fuente: Elaboración propia

d) Soporte de borde

Contará con un soporte de borde que será un cordón y acera.

3.6.3. Resultados del espesor de la losa ultradelgada

Una vez terminado con el llenado de los datos se procede a hacer correr el programa

Figura 3.37. Resultado del dimensionamiento

DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO

ESAL Rígido NaN

Módulo compuesto de reacción de subrasante 397.8 MPa/m

(valor k estático) 150 mm

Capa superior = Subbase no estabilizada

Save Project As

View/Print Design Summary

Sensitivity Analysis of Concrete Pavement Design

Valor k Confiabilidad

Resistencia del H² % losas agrietadas

Vida de diseño

	Espesor mín. requerido mm	Espesor de diseño mm	Espaciado máx. de articulación m.	Falla controlada por
Con dowels	89.15	90.00	1.89	Agrietamiento
Sin dowels	89.15	90.00	1.89	Agrietamiento

Load Transfer Req. Jointing Req.

Cracking/Faulting Table Rounding Considerations

Fuente: Elaboración propia

3.7. CÁLCULO DEL ESPESOR DE LOSA DE MANERA TRADICIONAL MÉTODO 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 3.21)
- b) Según el tipo de vía en estudio elegir el periodo de análisis, según la tabla 3.23
Pavimentada de bajo volumen de tráfico: n = 20 años
- c) Usando el índice de crecimiento de cada tipo de vehículo se calcula el factor de crecimiento (FC)

Tabla 3.26. 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	26,376
Vehículos medianos (camioneta y minibuses)	3,0	29,42	0,02	23,371
Vehículos pesados	8,0	78,45	0,0025	20,482

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

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

$$FC = \frac{(1+0,03)^{20} - 1}{0,03}$$

$$FC = 26,376$$

- d) Cálculo del número de ESAL's

Tabla 3.27. 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	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	
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	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	
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	80,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
20	89,0	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	2,40	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	6,70	6,85	6,94	7,00	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	160,0	20,1	19,3	19,2	19,5	20,1	20,7	21,1	21,4	21,5	
40	178,0	32,2	30,8	30,4	30,7	31,6	32,6	33,4	34,0	34,4	
42	186,9	40,1	38,4	37,7	38,0	38,9	40,1	41,3	42,1	42,7	
44	195,8	49,4	47,3	46,4	46,6	47,6	49,0	50,4	51,6	52,4	
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	88,0	84,1	82,2	82,0	83,0	84,9	87,4	89,8	91,7	

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

Tabla 3.28. 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)	142	1367043,2	0,0013	1777,16
Vehículos medianos (camiones y minibuses)	26	221795,2	0,0036	798,46
Vehículos pesados	18	134568,1	2,39	2059470,72
Total				2063693,07

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.

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 3.29. % 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%

$$W_{18} = 2063693,07 \times 0,9 \times 0,5$$

$$W_{18} = 928661,88$$

f) Cálculo de la serviciabilidad del pavimento (ΔPsi)

$$\Delta\text{Psi} = P_o - P_t$$

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)

$$\text{Resistencia a compresión (banco Río Tarija) } f'c = 254.242 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 3673,05 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

$$E_c = 5700 \times \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 5700 \times \sqrt{3673,05 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}}$$

$$E_c = 3454524,873 \text{ Psi}$$

h) Coeficiente de drenaje

$C_d = 1$ (Buena calidad de drenaje)

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

Tabla 3.30. 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: 20 años

j) Cálculo módulo resiliente efectivo de la subrasante

Módulo resiliente efectivo de la subrasante (M_R)

CBR= 63,27%

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

$$M_R (\text{Psi}) = 1500 \times 63.27$$

$$M_R = 94905 \text{ Psi}$$

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

Tabla 3.31. 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:

$$J = 3,2 \text{ con barras lisas o dowels}$$

1) Cálculo del módulo de reacción efectivo de la subrasante

Tabla 3.32. 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 Psi (lb/plg²)

Pérdida de soporte $LS = 2$

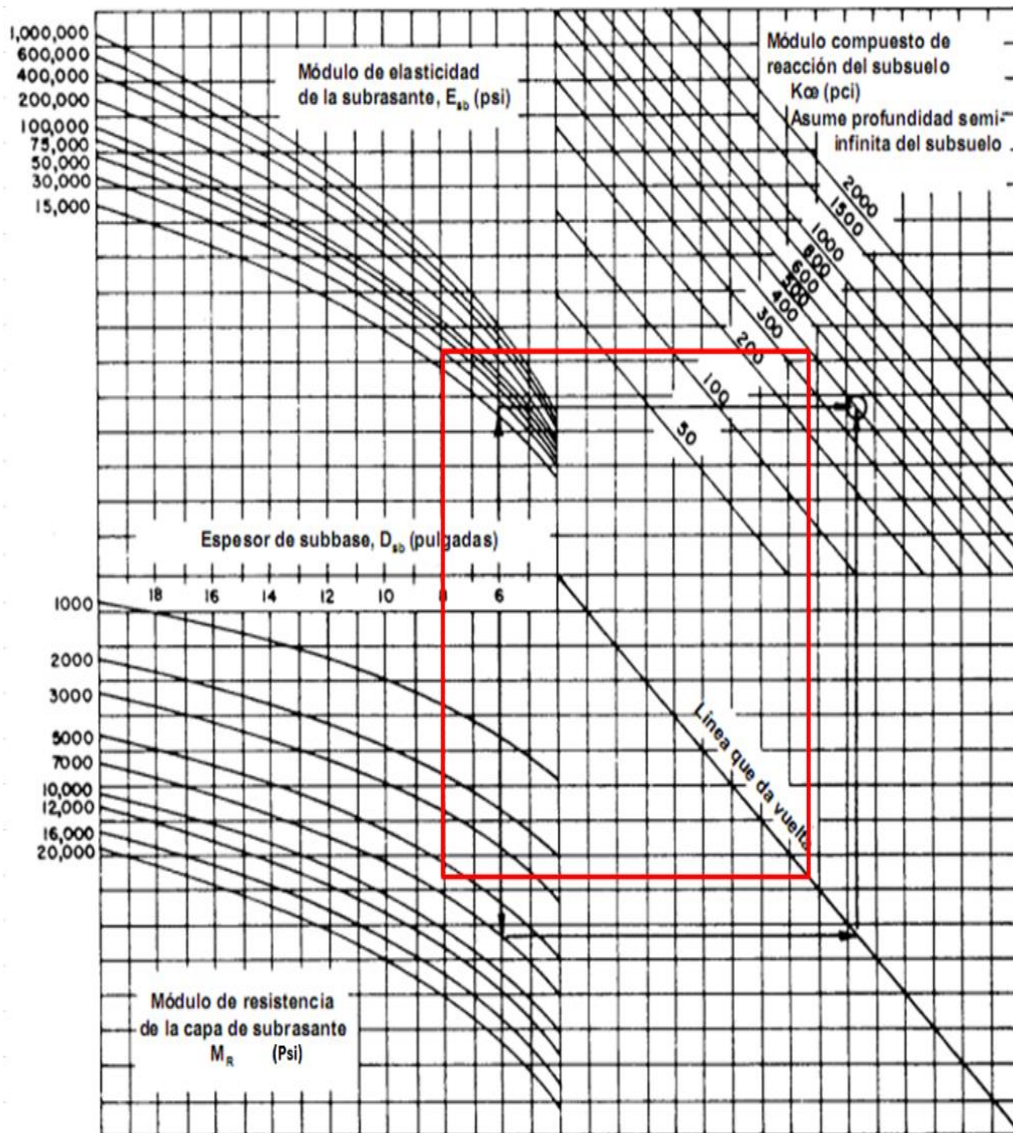
Módulo de reacción de subrasante (MR) = 94905 Psi

Espesor Base (e) = 8,00 plg = 20,32 cm

$k_{\infty} = 400 \text{ lb/plg}^3$

Ábaco:

Figura 3.38. Módulo compuesto de reacción de la subrasante



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

Módulo resiliente de subrasante:

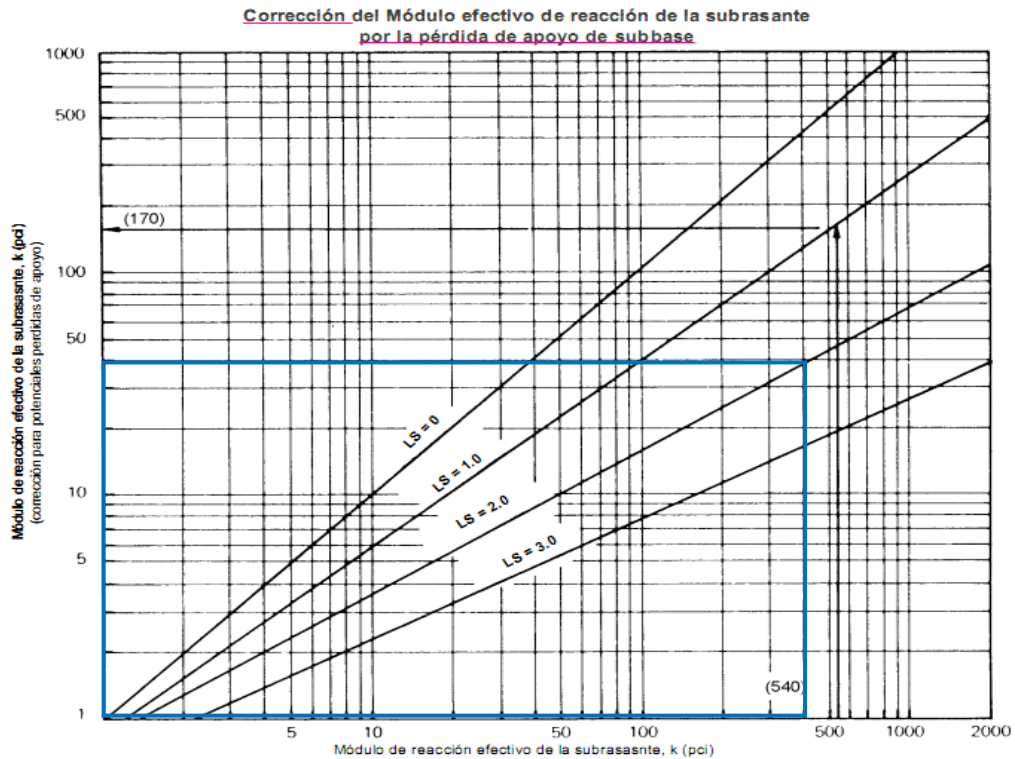
$$MR = 94905 \text{ Psi (lb/plg}^2\text{)}$$

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 3.39. 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:

$$K = 45 \text{ Psi (lb/plg}^3\text{)} \text{ (tabla 2.20)}$$

n) Diseño del pavimento

Para el diseño, tenemos los siguientes datos:

Módulo de reacción de la subrasante (k) (Psi) = 45 Psi

Módulo de elasticidad del concreto (E_c) (Psi) = 3454524,9 Psi

Módulo de rotura S_c (Psi) = 45,4 Kg/cm² = 645,74 Psi

Coeficiente de transmisión de carga (J) = 3,2

Coeficiente de drenaje (C_d) = 1

Confiabilidad (R) (%) = 80% ($Z_r = -0.524$)

Serviciabilidad (ΔPSI) = 2,5

W18 (Psi) = 928661,88

Figura 3.40. Ventana principal del software para diseño de pavimentos AASHTO 1993

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 80 % $Z_r = -0.841$ So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: 2.0

Tránsito de diseño: W18: 928661.88

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 45 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3454524.8 ¿ E_c/S_c ?

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 645.74

Coeficiente de transmisión de carga - J: 3.2 J

Coeficiente de drenaje - C_d : 1 C_d

Espesor de losa D (plg): 6.78

D redondeado (plg): 7.00

W18 real: 1.19E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg)

D: W18:

Quitar el control de variables

Diseñar Ver informe Salir

Fuente: Software AASHTO 1993

3.8. 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 fibra 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:

Figura 3.41. Agregados pétreos, fibra y moldes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.42. Vaciado de material a la mezcladora



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.43. Hormigón obtenido con fibras metálicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.44. Ensayo del asentamiento de cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.45. Vaciado del hormigón en los moldes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.46. Moldes terminados



Fuente: Elaboración propia

3.9. 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 3.47. Pesado de los moldes



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.48. Rotura de probetas cilíndricas y vigas



Fuente: Elaboración propia

3.9.1. 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 3.33. Resultados de resistencia de las probetas cilíndricas sin fibra

N°	Datos de las probetas			Cantidad de fibra en 1 probeta (gr)	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	220,25	213,037
2	15,000	30,000	13,945	Convencional	203,88	
3	15,000	30,000	14,015	Convencional	214,98	
4	15,200	30,500	14,045	79,52	255,45	258,242
5	15,000	30,000	13,945	79,52	259,49	
6	15,000	30,500	14,015	79,52	259,79	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.49. Resultados de las pruebas a compresión



Fuente: Elaboración propia

3.9.2. Resultados del ensayo de resistencia a flexo-tracción de vigas rectangulares

A continuación, se muestra las tablas 3.49 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 hormigón tanto vigas estándar y con fibra metálica, junto con su memoria fotográfica.

Tabla. 3.34. Resultados de resistencia de las vigas estándar y con fibra metálica

	Datos de las probetas				Cantidad de fibra en 1 viga (gr)	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	50,4	14,500	15,300	25,92	Convencional	32,22	32,53
2	50,0	15,000	15,000	26,125	Convencional	32,33	
3	50,5	15,400	15,400	27,08	Convencional	33,04	
4	50,0	15,000	15,000	28,985	168,75	45,38	45,4
5	50,0	15,000	15,000	27,080	168,75	44,77	
6	50,0	15,000	15,000	27,970	168,75	46,09	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.50. Resultados de las pruebas a flexo-tracción

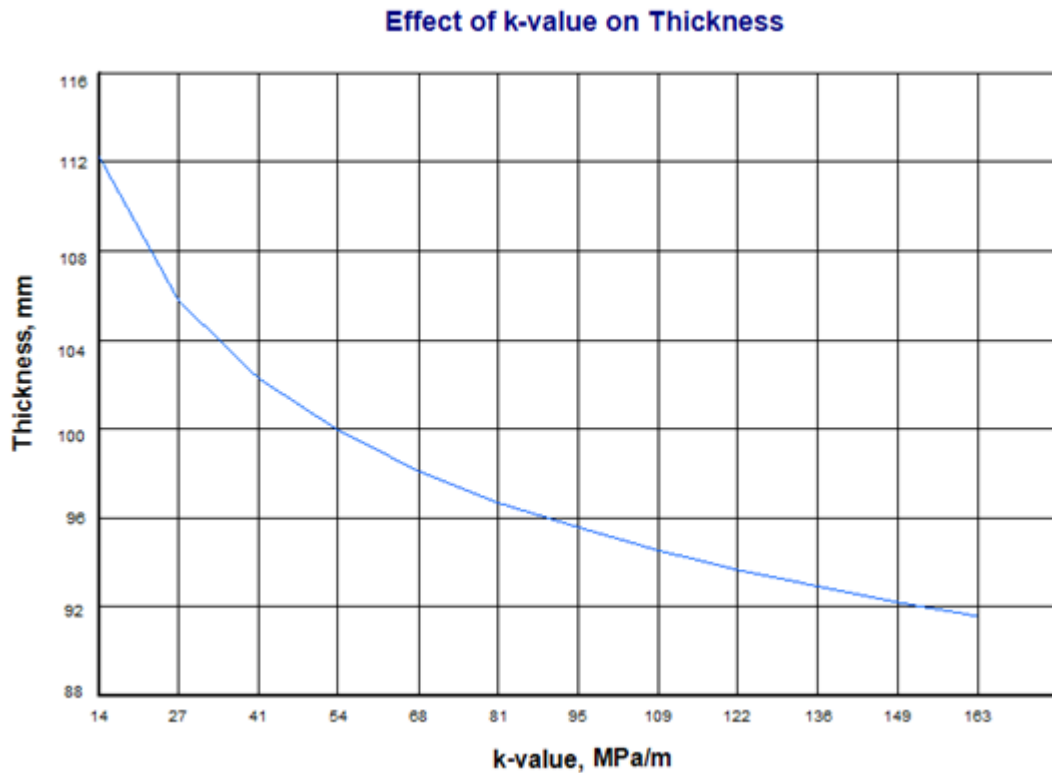


Fuente: Elaboración propia

3.10. ANÁLISIS DEL ESPESOR CALCULADO (SOFTWARE OPTIPAVE)

3.10.1. Valor - K

Figura 3.51. Efecto K relación de la subrasante vs sobre el espesor



Fuente: Elaboración propia

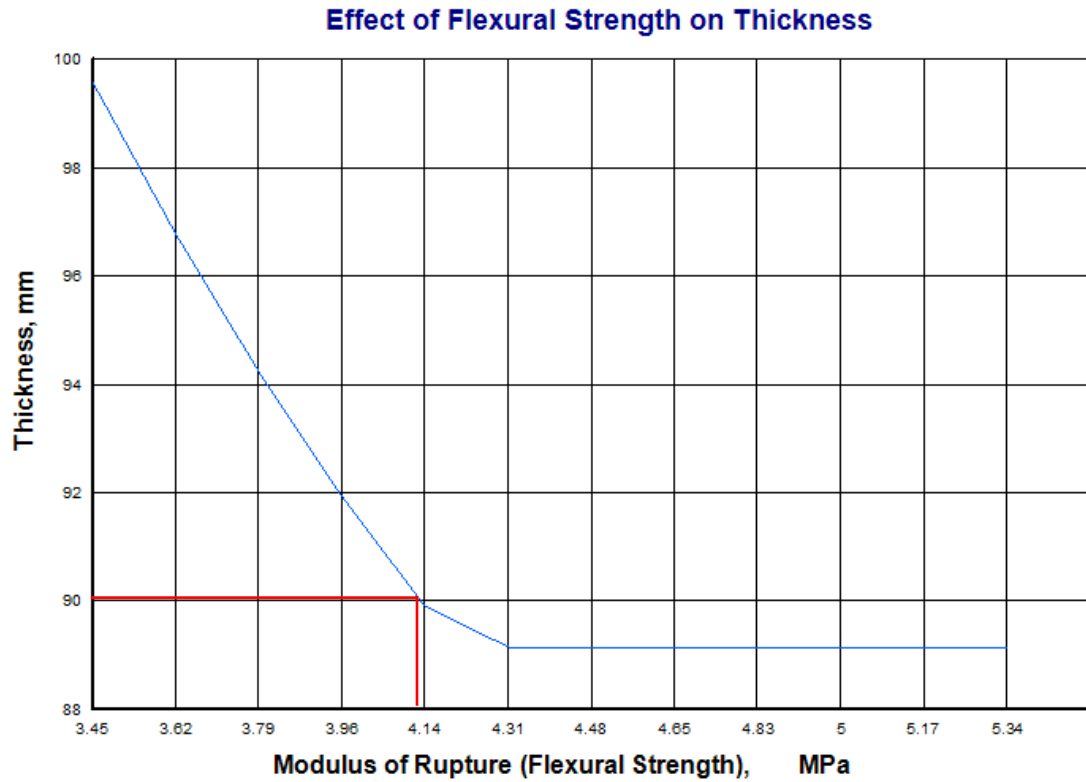
Esta gráfica representa la relación entre el espesor y el módulo de resiliente compuesto.

Si el módulo de resiliente es menor el espesor del pavimento será mayor en nuestro caso por ser un suelo granular, la gráfica nos dice que para 9cm de espesor se necesita un módulo de resiliente de 163Mpa/m mientras que el módulo resiliente calculado con el programa colocando una capa subbase granular es de 397,8 Mpa/m.

Nuestro espesor obtenido es el óptimo e incluso podría ser de menor espesor y resistiría de igual manera.

3.10.2. Resistencia del hormigón

Figura 3.52. Efecto de la resistencia a flexión vs espesor

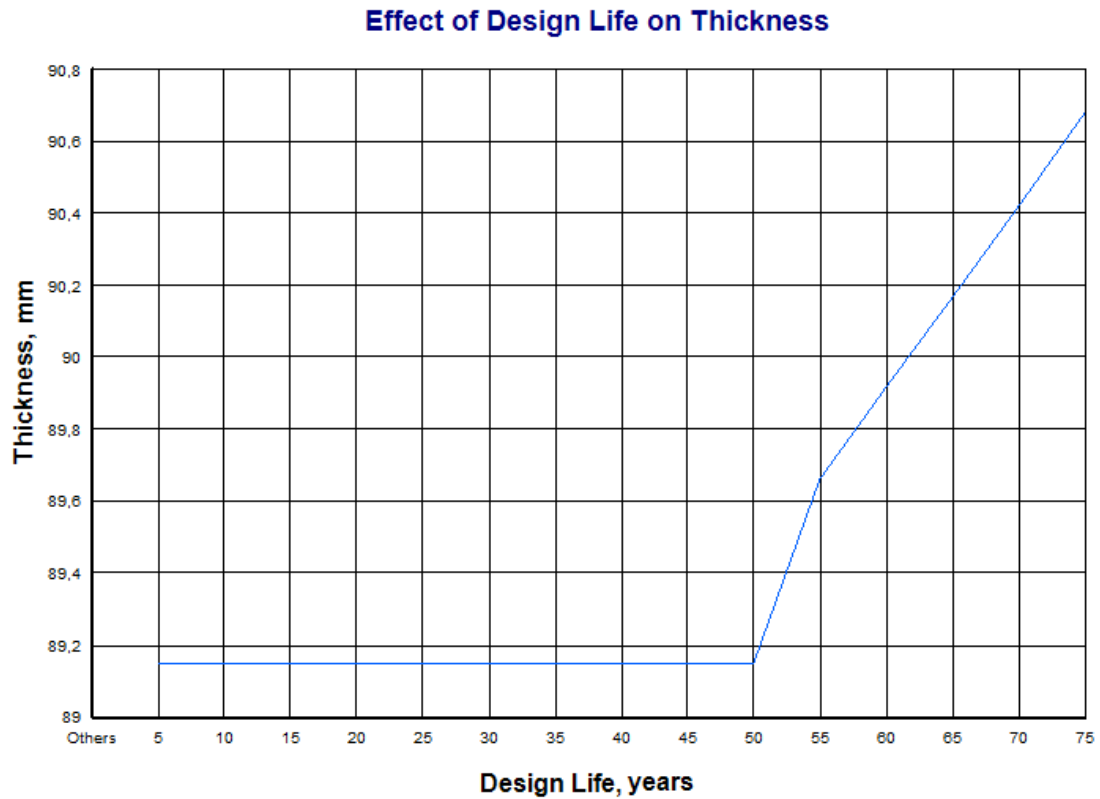


Fuente: Elaboración propia

La gráfica nos indica la resistencia a la flexión en relación con el espesor, mientras mayor sea el espesor de un pavimento la resistencia a la flexión será menor, para nuestro cálculo se comprueba que para 90 mm la resistencia a la flexión es 4,14 Mpa. La resistencia obtenida en laboratorio fue de 4,45 Mpa. nuestro espesor calculado es más que suficiente para la resistencia diseñada.

3.10.3. Vida de diseño

Figura 3.53. Efecto de la vida útil del diseño vs espesor



Fuente: Elaboración propia

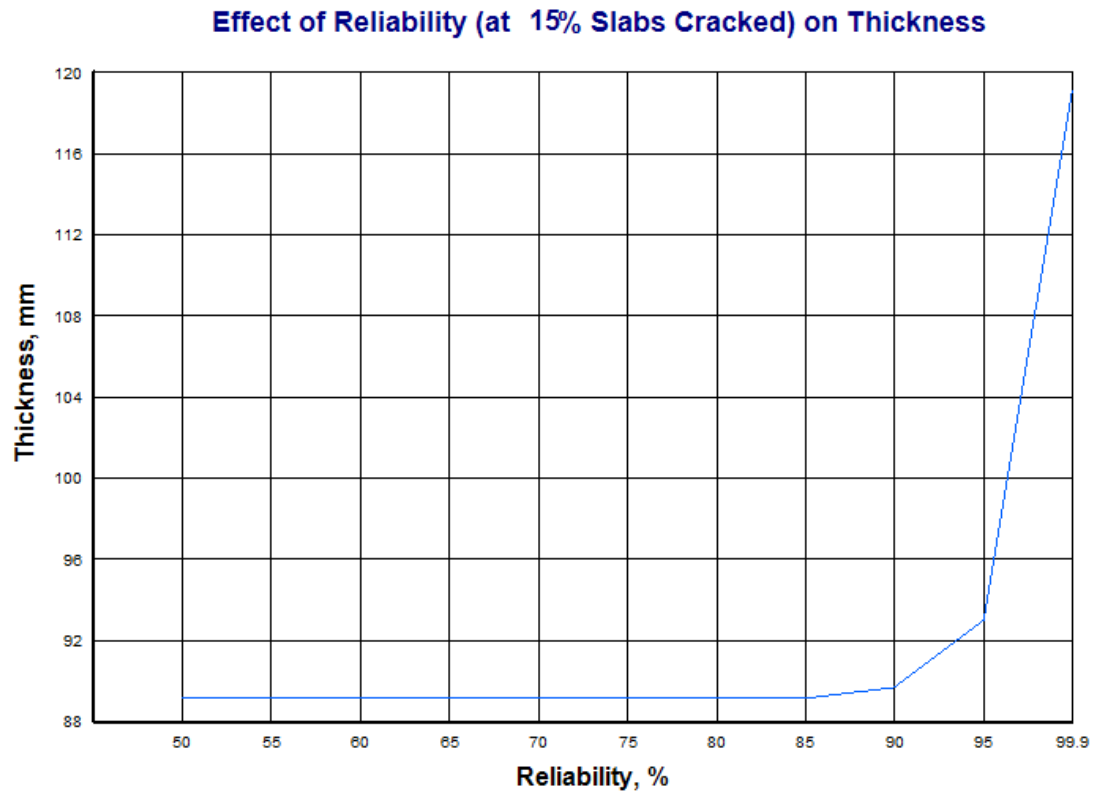
La gráfica nos indica el periodo de vida de diseño con respecto al espesor calculado.

De acuerdo al gráfico para nuestro espesor de 90 mm a 20 años de vida el comportamiento es de manera óptima sin fallas la vida útil es mejor de lo esperado.

Con los 90 mm de espesor se proyecta una vida útil de 50 años.

3.10.4. Confiabilidad

Figura 3.54. Efecto de la confiabilidad en 15% de losas agrietadas vs espesor



Fuente: Elaboración propia

La gráfica nos muestra la confiabilidad en 15% de losas agrietadas.

Con 90 mm de espesor en 20 años de servicio con un 80 % de confiabilidad se comporta de manera eficiente e incluso llega a un 85% de confiabilidad donde pasado el tiempo recién se observarán las primeras fallas por agrietamiento.

3.11. COMPARACIÓN DE ESPESORES CALCULADOS

Tabla 3.35. Espesor de losa

Espesor de losa	Software OPTIPAVE	Software AASHTO-93 (Método tradicional)
e	89,15 mm	6,78 plg
e	8,915 cm	17,22 cm
diseño	9,00 cm	17,5 cm

Fuente: Elaboración propia

3.12. PRECIOS UNITARIOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO (1M² 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: 1:2,3:4,0.

En las tablas de precios unitarios, se muestran el, cálculo que realizó para 1m² de pavimento por el espesor encontrado en los cálculos de espesores con los programas OPTIPAVE y AASHTO-93 método tradicional, estos son: 9 y 17,5 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: 1:2,3:4,0 con e = 17,5cm

Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio:

Cemento = 312,5 kg

Arena = 707,46 kg

Grava = 1254,75 kg

$$V = \frac{W}{\gamma}$$

$$V_{\text{arena}} = \frac{707,46 \text{ kg}}{1550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,46\text{m}^3$$

$$V_{\text{grava}} = \frac{1254,75 \text{ kg}}{1570 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,80\text{m}^3$$

Relación para encontrar las cantidades a usar para los precios unitarios

Volumen para el análisis de costo = $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,175 \text{ m} = 0,175 \text{ m}^3$

1 m^3	\longrightarrow	312,5 kg	}	X = 54,69 kg de cemento
$0,175 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		
1 m^3	\longrightarrow	$0,46 \text{ m}^3$	}	X = $0,081 \text{ m}^3$ de arena
$0,175 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		
1 m^3	\longrightarrow	$0,80 \text{ m}^3$	}	X = $0,14 \text{ m}^3$ de grava
$0,175 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		
1 m^3	\longrightarrow	15 kg	}	X = 2,625 kg de fibra metálica
$0,175 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		

Para una dosificación: 1:2,3:4,0 con e = 9cm

Datos obtenidos de los ensayos de laboratorio:

Cemento = 312,5 kg

Arena = 707,46 kg

Grava = 1254,75 kg

Relación para encontrar las cantidades a usar para los precios unitarios

Volumen para el análisis de costo = $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,09 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^3$

1 m^3	\longrightarrow	312,5 kg	}	X = 28,125 kg de cemento
$0,09 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		
1 m^3	\longrightarrow	$0,46 \text{ m}^3$	}	X = $0,0414 \text{ m}^3$ de arena
$0,09 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		
1 m^3	\longrightarrow	$0,80 \text{ m}^3$	}	X = $0,072 \text{ m}^3$ de grava
$0,09 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		
1 m^3	\longrightarrow	15 kg	}	X = 1,35 kg de fibra metálica
$0,09 \text{ m}^3$	\longrightarrow	X		

Tabla 3.36. Precios unitarios carpeta de hormigón convencional e = 17,5 cm

Actividad	Carpeta de hormigón convencional para pavimento rígido				
Descripción del ítem	Pavimento de concreto de e = 17,5 cm Dosificación: 1:2,3:4,0				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Cemento Portland	kg	54,69	1	54,69
2	Arena	m ³	0,081	120	15,6
3	Grava	m ³	0,14	160	22,4
4	Hierro corrugado	kg	0,060	6,5	0,39
5	Madera de construcción	p ²	0,090	7	0,63
	Total, materiales				93,71
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
3	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				138,84
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				30,93
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				34,03
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				11,57
	Total, precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				385,86

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.37. 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: 1:2,3:4,0				
Unidad	m ²				
Moneda	Bs.				
a	Materiales				
Nº	Insumos/Descripción	Unid.	Cant.	Unit. (Bs.)	Costo parcial (Bs.)
1	Cemento Portland	kg	28,125	1	28,125
2	Arena	m3	0,0414	120	8,1
3	Grava	m3	0,072	160	11,52
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	20,3	27,405
	Total, materiales				76,17
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
3	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				138,84
d	Gastos generales y administrativos				
	Gastos generales y administrativos (10 % de a+b+c)				29,18
e	Utilidad				
	Utilidad (10 % de a+b+c+d)				32,10
f	Impuestos				
	Impuesto a las transacciones (3,09 % de a+b+c+d+e)				10,91
	Total, precio unitario Bs. (a+b+c+d+e+f)				363,98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.38. Precios unitarios de la junta transversal

Actividad	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 3.39. 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 3.40. Tabla resumen de los resultados de los precios unitarios

Tipo de pavimento	Espesor de losa (cm)	Dowels	Total, precio unitario (Bs)
Rígido método tradicional	17,5	Si	436,85
Rígido ultradelgado	9	No	380,48

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de aplicación, se han cumplido los objetivos que se plantearon, ya que se logró cumplir con lo propuesto como se trata de un dimensionamiento de pavimento rígido ultradelgado el dimensionamiento obtenido es menor al de los pavimentos convencionales.
- Se realizó el diseño de mezcla por el método del ACI-211, obteniendo una dosificación de cemento:1 arena:2,3 grava: 4,0 de proporción para el diseño de mezcla se realizaron también los ensayos respectivos para este caso.
- Se determinó que la implementación de fibras metálicas al hormigón influyó de manera satisfactoria cuando se trata de resistencias a flexo-tracción, 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.
- 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 misma, 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 compresión, elaborados a un concreto con resistencia de 280 kg/cm^2 , la resistencia para un hormigón convencional para una dosificación 1:2,3:4,0 se obtuvo una resistencia promedio de $213,037 \text{ kg/cm}^2$, con la

implementación de la fibra metálica aumento la resistencia un promedio de $258,242\text{kg/cm}^2$.

- Los resultados obtenidos del ensayo de flexo-tracción para una dosificación 1:2,3:4,0 para un hormigón convencional se obtuvo una resistencia promedio de $32,53\text{kg/cm}^2$ mientras que con la adición de fibras metálicas se alcanzó una resistencia promedio de $45,4\text{kg/cm}^2$.
- Lo que se puede aportar de las vigas ultradelgadas es que éstas trabajan bastante bien con la ayuda de fibras 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 al igual que la ruptura a compresión las fisuras son muy pocas notorias.
- En cuanto a la aplicación de pavimentos con espesores menores a los establecidos en la AASHTO 93 donde el mínimo a usar es de 15 cm, se estableció que es posible la construcción de un pavimento de espesor igual a 9,00 con la aplicación de nuevas herramientas para calles de bajo tráfico ya que verifica también las fallas previstas por agrietamiento.
- Se realizó el cálculo del espesor de los pavimentos con el programa “Método AASHTO 1993 para el diseño de pavimentos” y el software Optipave para pavimentos ultradelgados tomando como datos las mismas cantidades de tráfico, los resultados son los esperados por ambos programas, pero el fin del proyecto es de comprobar que es posible un pavimento de espesor mucho menos que de un pavimento tradicional y se demostró en los cálculos.
- Se pudo comprobar mediante los cálculos que el costo del pavimento ultradelgado con fibras metálicas es más económico que un pavimento convencional, en la siguiente tabla se muestra la diferencia de costos para el pavimento convencional y con adición de fibras para 1 m^2 con sus respectivos espesores:

Tipo de pavimento	Espesor de losa (cm)	Dowels	Total, precio unitario (Bs)
Rígido método tradicional	17,5	Si	436,85
Rígido ultradelgado	9	No	380,48

4.2. RECOMENDACIONES

- 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 reducido se debe tener un estudio para garantizar un buen funcionamiento, es recomendable su aplicación en zonas urbanas teniendo previo estudio del tráfico si es de mucha aglomeración, 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 material granular.
- Se debe tener en cuenta la correcta adición de fibras para que estas estén distribuidas de manera uniforme para tener mejores resultados en cuanto a resistencias.