

■ ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE ARENA APLICADO A VÍAS URBANAS PERIFÉRICAS

CAPÍTULO I

1.1 GENERALIDADES

El pavimento es el conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son: el ancho, el trazo horizontal y vertical, la resistencia adecuada las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas.

Los pavimentos están clasificados de acuerdo a las características de su capa superficial ó capa de rodadura, teniéndose así los siguientes pavimentos:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido

Para lograr el correcto funcionamiento de un pavimento se debe cumplir con determinados objetivos entre los cuales citados a continuación:

- Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.
- Tener la impermeabilización necesaria.
- Resistir la acción destructora de los vehículos.
- Tener resistencia a los agentes atmosféricos.
- Tener una superficie adecuada de rodadura.
- Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base ó sub-base.

Un pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores. Las secciones transversales de un pavimento rígido está compuesta por la losa de concreto hidráulico que va sobre la sub-base y ésta sobre la sub-rasante. Tiene un costo inicial más elevado que los pavimentos flexibles y su periodo de vida varía entre 20y 40 años .el mantenimiento que requiere es mínimo y se orienta generalmente al tratamiento de juntas de las losas.

Posteriormente y básicamente por razones económicas se comienza a utilizar en mayor escala el concreto de arena tanto en edificaciones y calzadas.

Debemos señalar que si bien el uso del concreto de arena en pavimentos, constituyen una opción interesante, tiene algunas limitaciones que deberán tomarse en cuenta.

En consecuencia, su dimensionamiento deberá realizarse con mayores coeficientes de seguridad de un pavimento rígido tradicional, por otro lado es recomendable cubrir el pavimento con una delgada capa asfáltica debido a su menor resistencia a la abrasión, sobre todo si se trata de arenas finas. Especial cuidado deberá tenerse con las juntas de pavimento tanto de contracción y dilatación, como de construcción.

Con la finalidad de estudiar los concretos de arena con niveles de resistencia generalmente usados y el propósito básico de lograr mejores propiedades en el concreto mediante el uso de aditivo plastificante, se desarrollo en el laboratorio de la universidad de Iquitos una investigación de la Empresa Cementos Selva S.A para sus cementos tipo I y tipo IP sin aditivos, y con el uso de un aditivo plastificante probando las resistencias a compresión a 3, 7, 28 y 60 días, resistencia a tracción por compresión diametral y ensayos en concreto fresco como asentamiento, peso unitario, exudación y contenido de aire. Es necesario continuar las investigaciones con el uso de superplastificantes y fibras sintéticas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Este estudio se justifica porque a pesar del conocimiento que se tiene sobre la importancia de los pavimentos, no existen estudios de valoración de los distintos tipos de pavimentos y sus incidencias en nuestro medio, también es muy importante estar preparados para afrontar

nuevas alternativas de diseño y construcción de pavimentos. El siguiente trabajo de investigación está dirigido fundamentalmente a tener a disposición una guía para el diseño y aplicación de los pavimentos con concreto de arena.

Se indican las principales conclusiones de estudios específicos sobre algunas propiedades particulares (disminuir su costo, incrementa la adherencia entre el material pétreo y el material asfáltico), una solución evidente de mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos.

La situación actual boliviana en la construcción de pavimento rígido, muestra grandes deficiencias y una ausencia notable de conocimiento de los principios básicos de diseño; este problema, obliga a elegir las mejores alternativas de pavimentación, por lo que debemos instruirnos sobre el tema para aplicar las nuevas alternativas de construcción asegurando un soporte exitoso sin asentamientos ante la presencia de cargas iguales o menores a las cargas de diseño. Para ello, el pavimento rígido surge como la mejor opción y la mejor decisión de inversión.

Las excelentes características de esta tecnología, tales como, un mínimo costo de mantenimiento, seguridad al usuario, menores costos de operación vehicular y gran durabilidad, permiten asegurar las inversiones realizadas.

Se justifica porque han aparecido una gama de materiales y distintos métodos que se utilizan para el y es necesario estudiar a cabalidad cada uno de estos métodos y así poder emplearlos de mejor forma.

También porque en nuestro medio se tienen varios proyectos de pavimentación en distintas zonas viales con pavimentos rígidos en distintas con diferentes condiciones y donde deberá estudiarse la aplicación de esta.

Este estudio permitirá tener identificado las mejores alternativas y procedimientos para los pavimentos próximos en nuestro medio.

Este estudio permitirá establecer ciertas pautas para el empleo de estos pavimentos en zonas periféricas donde no exista agregado grueso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis de pavimentos, aplicando concreto de arena en zonas periféricas utilizando metodologías establecidas, las cuales puedan ser aplicadas en nuestro medio para vías donde se tenga la necesidad de este tipo de pavimentos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar los aspectos generales de los pavimentos rígidos en lo que se refiere a sus características, propiedades, tipología y procesos constructivos.
- Analizar los principios en el dimensionamiento de pavimento de concreto de arena y a su vez establecer las características y especificaciones de los componentes de los pavimentos con sus respectivas particularidades.
- Determinar las características de la zona en estudio.
- Analizar los parámetros de diseño necesarios para el estudio de los pavimentos de concreto de arena.
- Estudiar diferentes metodologías para el dimensionamiento de pavimentos rígidos especiales para concretos de arena . La metodología aplicada será a través de la Asociación del Cemento Portland (PCA).
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en la aplicación práctica.

1.4 ALCANCE

Se hará una fundamentación teórica acerca de los parámetros y elemento de diseño del pavimento, como las características del suelo, tráfico equivalente y vida útil del proyecto y del por qué de la elección del pavimento rígido.

Se realizará una fundamentación teórica detallada de cada uno de los métodos con respecto a sus variables y factores para la aplicación de sus respectivas condiciones de diseño.

El tema en estudio está debidamente justificado, es técnica y profunda. Contiene el objetivo general y objetivos específicos, los medios y la metodología a ser desarrollada.

Describir el conjunto de capas y los elementos que constituyen los pavimentos de concreto como ser las losas de concreto, capa subbase, capa subrasante, acotamientos, así también es indispensable establecer sus principales funciones y comportamiento que depende de la calidad y del tipo de materiales.

Además de los elementos que constituyen un pavimento rígido se hará mención de las características estructurales y funcionales de las losas que dependen fundamentalmente de su espesor y de la calidad del concreto empleado.

Se realizará la tipificación de los pavimentos de concreto utilizados en losas y de sus principales características, ya que constituye el elemento de mayor responsabilidad estructural y funcional, teniendo las capas inferiores, como la subbase y la capa subrasante, la función de asegurar un apoyo uniforme y estable al pavimento.

Se debe conocer los principios y componentes de los pavimentos rígidos para carreteras. De los componentes del pavimento rígido que se hará mención de la subrasante, su función y características, la resistencia del conjunto base subrasante, capa base o sub base y finalmente la capa de rodadura.

Se deberán establecer los parámetros de dimensionamiento como ser cargas de vehículos, del cual es necesario conocer la carga de eje máxima, número de repeticiones de carga, área de contacto de la llanta.

Se indicará los procedimientos de diseño, métodos y procesos de dimensionamiento de la losa, para luego realizar la valoración de los resultados.

La parte principal del estudio es la aplicación y materialización del contenido teórico del proyecto, será realizado aplicando metodologías establecidas las cuales puedan ser aplicadas en nuestro medio, en obras que tengan esta necesidad de pavimento; una vez establecido el lugar de estudio se procederá a caracterizar los tipos de cargas en los pavimentos de concreto, además de otros parámetros.

Se iniciará con el proceso de dimensionamiento de la geometría de losas, espesor de losa, juntas y el tipo de hormigón, de acuerdo a la tipología establecida.

Las conclusiones serán los resultados a los objetivos planteados, los cuales se determinarán una vez realizada y finalizada la aplicación práctica.

Las recomendaciones deberán nacer de la experiencia de la realización del proyecto.

1.5 METODOLOGÍA Y MEDIOS

Para iniciar con la elaboración del estudio será necesario realizar la investigación del suelo de la subrasante de los lugares en estudio, con el propósito de conocer las propiedades de los materiales que lo constituyen, las exploraciones se practicarán mediante pozos a cielo abierto, preferentemente hasta una profundidad del orden de los sesenta centímetros bajo el nivel del terreno natural, de donde se obtendrán muestras representativas a las cuales se efectuarán los ensayos necesarios para conocer el valor relativo de soporte CBR; conociendo dicho valor, se hará uso de tablas de correlación entre el valor relativo de soporte CBR y el módulo de reacción k de la subrasante, con la finalidad de conocer el módulo de la reacción k de la subrasante el cual es el principal parámetro necesario para el diseño de pavimentos rígidos.

Una vez constituido en el lugar de estudio se realizará la recopilación de los parámetros de dimensionamiento como ser:

- Cargas distribuidas; se debe conocer la carga máxima, área de contacto de la carga y otros parámetros.

Los medios necesarios para la elaboración del proyecto son:

- Visitas de campo: En las cuales se realizará la recopilación de información necesaria para la aplicación del método de diseño, como también la provisión de muestras de suelos de los lugares en estudio.
- Trabajo de laboratorio: Donde se realizarán los ensayos de Contenido de humedad, Límites de Atterberg, Granulometría, Clasificación de suelos, Compactación y CBR.
- Trabajo de gabinete: En el cual se realizarán los cálculos para determinar los valores de los ensayos realizados, así como los cálculos para el dimensionamiento de pavimentos rígidos.

Los medios a utilizar para la realización de este estudio será:

- Equipo topográfico
- Laboratorio de suelos
- Laboratorio de hormigón

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE LOS PAVIMENTOS

2.1. GENERALIDADES

La tecnología de los pavimentos se ha desarrollado principalmente en torno a las estructuras de tipo flexible, con capas asfálticas como superficie de rodamiento, las cuales han experimentado con el tiempo innovaciones en cuanto a materiales y espesores para incrementar su resistencia, antes que recurrir a soluciones con concreto para tal fin, pese a que hay casos en que claramente podría establecerse que la solución técnica y económica más adecuada sería un pavimento de tipo rígido.

Posiblemente han influido en lo anterior conceptos mal definidos, entre los que conviene señalar el costo, falta de equipos, carencia de experiencia, que estancaron el desarrollo de la tecnología de pavimentos de concreto en el país.

Puede mencionarse por otra parte, que esta situación se capta con mayor intensidad en el campo de aplicación de las carreteras, pues no es sino a partir del año 1996, que se inició con la construcción de los primeros pavimentos rígidos construidos inicialmente en las ciudades de Santa Cruz y en Cochabamba; posteriormente, se sumaron a estas iniciativas, la ciudad de Potosí, Tarija, La Paz y Oruro. Otras ciudades pequeñas también apostaron al pavimento rígido, como Yacuiba, Bermejo, Entre Ríos y Cobija que construyeron muchos miles de metros cuadrados de pavimento durable y aún continúan en la búsqueda de proyectos y financiamiento para nuevas necesidades demostrando que el pavimento rígido es la mejor opción de pavimentado, embellecimiento y modernización de una ciudad.

Adquirida la experiencia en estructuras viales y demostrando que el pavimento rígido es la mejor opción de pavimentado, se inicia con la búsqueda de nuevas aplicaciones del pavimento rígido, desarrollándose así la construcción de estacionamientos y pisos industriales.

Con el paso de los años, se fue perfeccionando y mejorando los procedimientos de cálculo y construcción, llegando así a obtener a través de estudios y prácticas, mejor diseño, especificaciones y mejor tecnología.

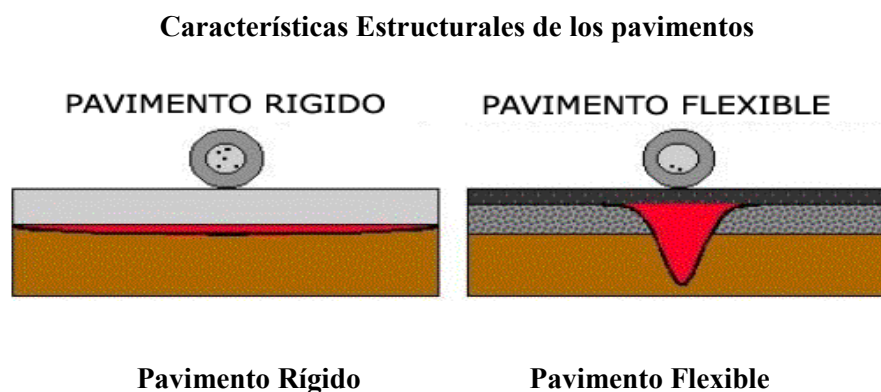
El pavimento rígido se consolidó como el líder, llegando a ser la alternativa número uno en cualquier proyecto de construcción, pues ya empezó a dar sus primeros frutos: es reconocida como la mejor tecnología en construcción de vías; es valorada como generadora de empleo, de ingresos y sobre todo de mejores condiciones de vida para aquellos sectores que toman buenas decisiones que no sólo solucionarán las grandes necesidades que tienen en el presente, sino que afectarán la vida de las futuras generaciones con mayor bienestar, progreso y confianza al momento de asegurar las inversiones realizadas.

La experiencia en el diseño y construcción de losas de concreto en los países vecinos revolucionaron la construcción, demostrando la efectividad del pavimento rígido, desarrollando y mejorando la resistencia al desgaste y al impacto de pavimentos sometidos a condiciones severas.

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS

Los pavimentos pueden dividirse en Rígidos y Flexibles. El comportamiento de los mismos es muy diferente.

En un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de hormigón, se produce una buena distribución de las cargas de ruedas dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. En un pavimento flexible, el concreto asfáltico, al tener menos rigidez, se deforma más que el hormigón y se producen tensiones mayores en la subrasante.



En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

FIG. 2.1

2.2.1 PAVIMENTO RÍGIDO: Constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

- La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la des compactación del apoyo y su erosión.
- Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.

Mecanismo de distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos

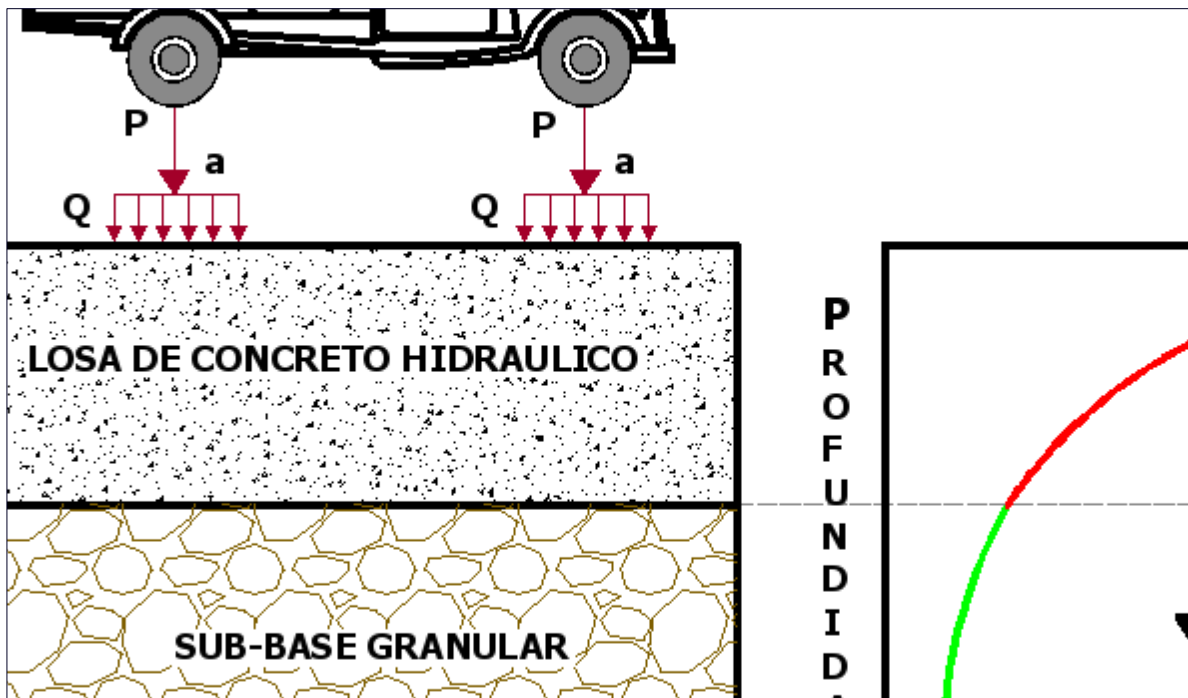


FIG. 2.2

2.2.2 PAVIMENTO FLEXIBLE: Caracterizado por tener en la parte superior, una capa bituminosa, apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (Base granular y Sub-base granular), las cuales transmiten los esfuerzos al terreno de soporte, mediante un mecanismo de disipación de tensiones, presiones que van disminuyendo en su magnitud, con la profundidad. Este tipo de pavimento, presenta las siguientes particularidades:

- Las capas granulares, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.
- Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera, es menor que el 10% de la presión de contacto.
- En pavimentos flexibles, apoyados sobre Sub-rasante fina, por ningún motivo, se debe omitir la Sub-base Granular.

Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Flexibles

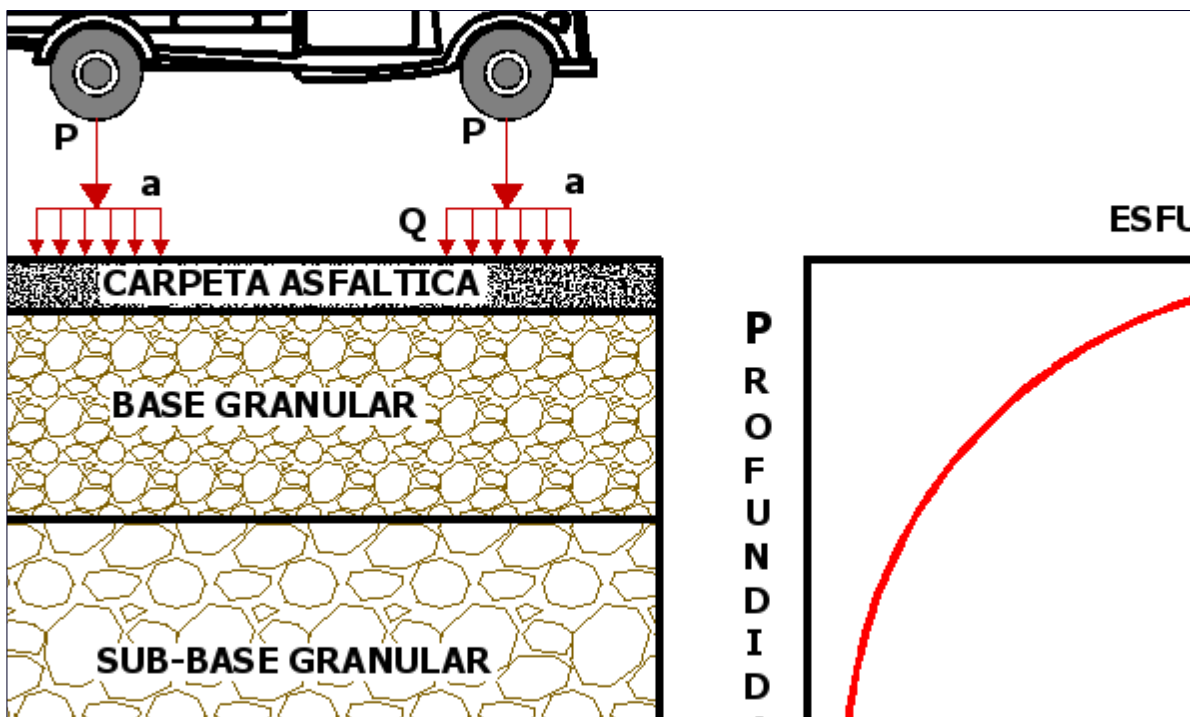


FIG 2.3

2.2.3 PAVIMENTO ARTICULADO: Este tipo de pavimento, está constituido en la parte superior por un conjunto de elementos de gran rigidez individual (adoquines), apoyados sobre una capa de arena de 4.0 cm a 5.0 cm de espesor, y seguidamente, las capas inferiores son de las características de las capas inferiores de un pavimento flexible, donde el adoquín y la capa de arena, reemplazan la capa de concreto asfáltico.

Mecanismo de disipación de tensiones en Pavimentos Articulado

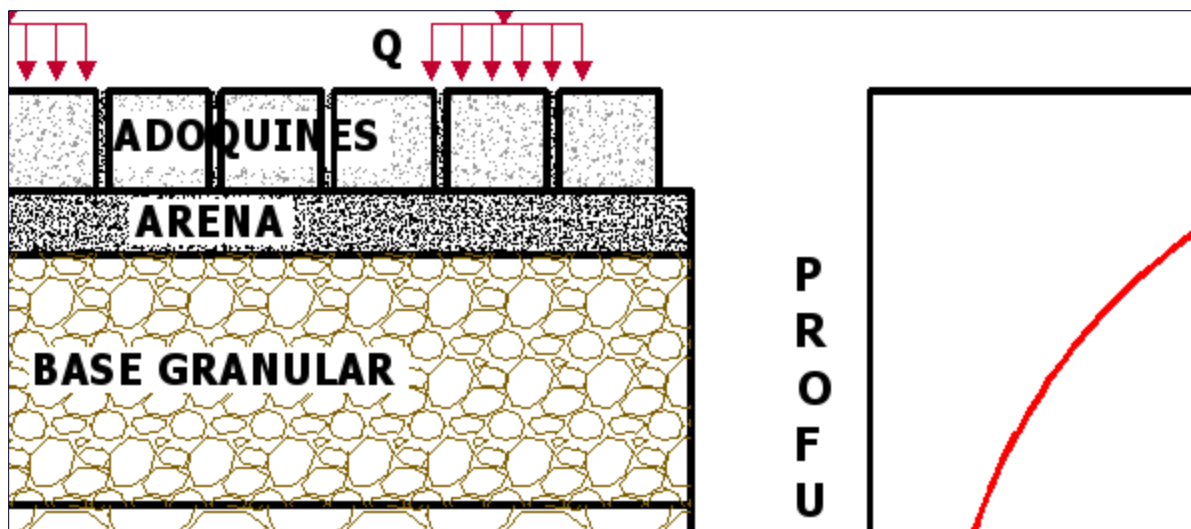


FIG. 2.4

2.2.4 PAVIMENTO SEMI-RÍGIDO: Son tipos de pavimento, que conservando la estructura esencial de un pavimento flexible, tienen una o mas capas rigidizadas artificialmente con cal, cemento, asfalto, etc; la transmisión de esfuerzos al suelo de soporte, se hace por disipación y distribución; por eso, se asume que este tipo de estructura de pavimento tiene un comportamiento mixto. En pavimentos semi-rígidos, la capa estabilizada tiene aporte estructural.

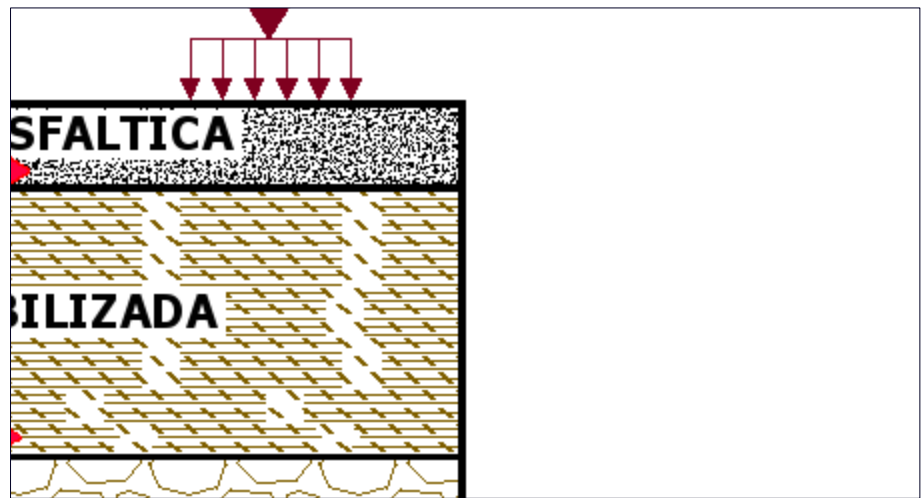
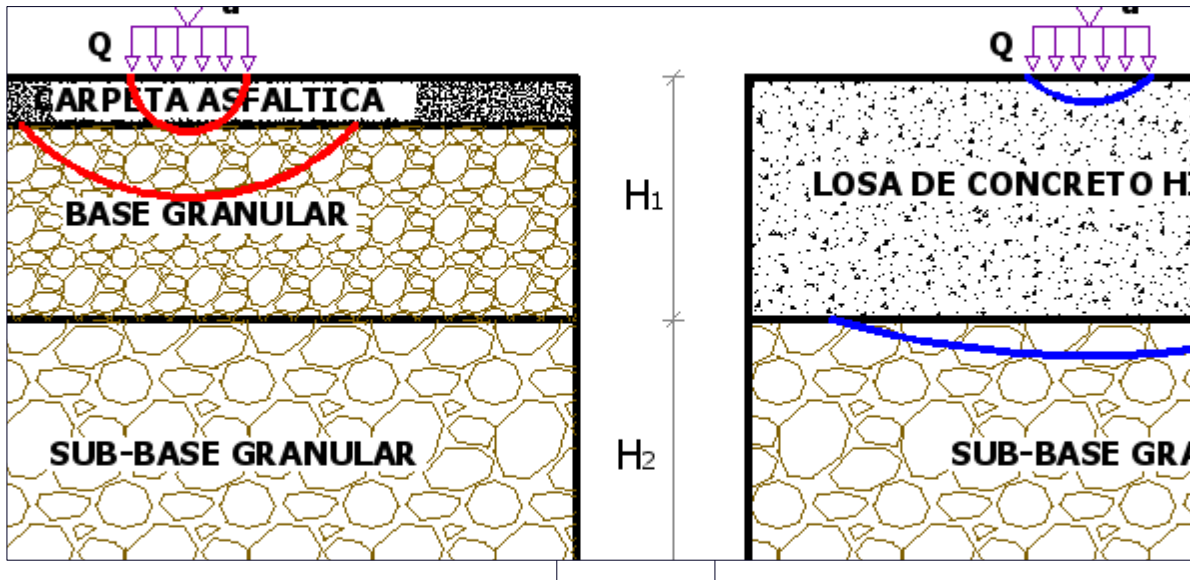


FIG. 2.5

2.3. COMPONENTES DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y PAVIMENTO RÍGIDO

Los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor, disposición en la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.



Grandes tensiones
 Grandes deformaciones
 Deflexiones $\epsilon_{carpeta} = 10^{-4}$, $\epsilon_{subrasante} = 10^{-4}$ < 0.5 mm
 $\sigma_{subrasante} = 0.1Q_{cortado}$
 Menor Durabilidad

Pequeñas deformaciones
 Pequeñas tensiones
 Erosión en la sub-base
 $M_r_{concreto} = 40$ a 45 Kg/cm²
 Si $\sigma_{losa} > 0.45 M_r \rightarrow$ Fatiga
 Mayor durabilidad

2.3.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, son estructuras formadas por varias capas (sub-base, base y carpeta asfáltica) las cuales se construyen sobre la subrasante.

La carpeta asfáltica, que constituye la capa de rodadura es la que soporta directamente las solicitaciones del tráfico.

Las características más importantes que deben satisfacer los materiales pétreos para carpetas asfálticas son: granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. En este caso, la granulometría es mucha importancia, y debe satisfacer las normas correspondientes, pues como los materiales pétreos deben cubrirse en su totalidad con el asfalto, si la granulometría cambia, también cambiará la superficie por cubrir. Ya que al aumentar o disminuir los finos, se afecta más la superficie por cubrir, que cuando hay un cambio en las partículas gruesas.

Los agregados

Los agregados de una mezcla asfáltica deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Sólo el 5 % deben ser alargadas.
2. No contengan material orgánico.
3. No deben tener más del 20% de material blando (laja).
4. Contracción lineal <3 .
5. No debe tener un tamaño mayor a $2/3$ de la capa.
6. Debe soportar la prueba de interperismo acelerado.
7. Debe soportar la prueba de desgaste con un valor <40 .
8. Debe tener adherencia con el asfalto.
9. Su densidad aparente debe ser mayor a 2,3.

Cemento asfáltico

El asfalto, también llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo y a temperaturas normales es sólido, de color café oscuro. Para poder ser mezclado con los materiales pétreos, debe calentarse a 140°C . Las especificaciones correspondientes se encuentran en el Cuadro 2.1.

Las carpetas asfálticas más comunes son los tratamientos superficiales por riego con gravilla y los concretos asfálticos.

Capa base, es la capa del pavimento situada debajo de la capa de rodadura, su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tráfico suele corresponder a la intensidad del tráfico pesado.

Las características que deben tener los materiales, de tal forma que sean resistentes son:

TABLA 2.1

ESPECIFICACIONES PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO			
	Número 5	Número 6	Número 7	Número 8
Penetración, 100°, 5s, 25°C, grados	180 - 200	80 - 100	60 - 70	40 - 50
Viscosidad Saybolt – Furol A 135°C,s, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (Copa abierta de cleveland), °C mínimo	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	52 - 60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ³ , 5 h, 163°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1	0.8	0.8

- El valor soporte CBR debe ser $>$ al 50%.
- Debe ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.
- No deben presentar cambios de volúmenes que sean perjudiciales.
- El porcentaje de desgaste que se realiza con la máquina de los ángeles debe ser $<$ al 50%.
- La fracción de material que pasa el tamiz N° 40 debe tener un límite líquido $<$ 25%.
- Su Índice de plasticidad debe ser $<$ al 6%.
- La fracción que pasa el tamiz N° 200 no debe exceder de $\frac{2}{3}$ de la fracción que pasa el tamiz N° 40.

La sub base, es la capa situada debajo de la base y sobre la subrasante. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su puesta en obra y compactación. Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos. En todo caso suele ser una capa de transición necesaria.

Las características recomendadas para esta capa son las siguientes:

- El material debe ser granular (A – 1 o A – 2).
- Su límite líquido sea < al 35%.
- Un índice plástico no > a 6.
- Un valor soporte CBR > 15%.
- Como su función principal es de ser una capa drenante, el material fino que pasa el tamiz N° 200, no debe ser > al 8%.

2.3.2. PAVIMENTOS FLEXIBLES SOBRE BASE DE EMPEDRADO

Este tipo de pavimento flexible, está conformado por dos capas, la base y la carpeta asfáltica como capa de rodadura, la base esta compuesta por el empedrado, y la capa de rodadura es una carpeta asfáltica.

La base de empedrado esta sobre una pequeña capa de material seleccionado y descansa sobre la subrasante, y conjuntamente con la carpeta asfáltica tienen que satisfacer los propósitos, y cumplir las características mencionadas en 2.3.1.

Como elemento fundamental se usa el canto rodado de los ríos, seleccionando los más regulares en tamaño, y que tengan uno de los lados chatos. Las piedras se asientan directamente sobre la tierra a profundidades variables según su tamaño, para conseguir que todos sus bordes superiores queden a la misma altura. Es el más imperfecto de los pavimentos, el tránsito vehicular no es cómodo: antiguamente se usaban como «mata polvo», en trochas y calles para carretas y carruajes tirados por caballos. En la actualidad no usan en vías de tipo turístico o calles de poblaciones pequeñas de poco tránsito. Sin embargo, puede soportar un tránsito relativamente pesado; colocando una base adecuada y cementando adecuadamente las piedras.

Bien diseñados y contruidos pueden ser tan hermosos como los pavimentos adoquinados, sobre todo si se combinan estos dos tipos de pavimentos en formas y colores atractivos.

En nuestro medio, este tipo de pavimento flexible se lo esta realizando desde 1995.



Fig. 2.7

2.3.3. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Constan fundamentalmente de una capa de rodadura que es de hormigón, con frecuencia también de una capa base y a veces incluso de una capa de sub base.

La capa de rodadura más empleada es el de hormigón vibrado en masa, dividido en losas mediante juntas para evitar, por un lado las fisuras que aparecerían por la retracción del hormigón y, por otro, para facilitar el alabeo entre carriles y juntas transversales de contracción distanciadas de 4 a 5 m. En estas últimas, se disponen a veces pasadores (barras lisas de acero no adheridas al hormigón) para la transmisión de cargas de una losa a la siguiente, con lo que se asegura la continuidad de rodadura a largo plazo.

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se los designa, difieren de los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles, primero en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo en que son afectados grandemente por los cambios de temperatura. Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- b) Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.

- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Los elementos que constituyen los pavimentos rígidos se describen a continuación.

2.3.3.1. LOSAS DE CONCRETO

Constituyen la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil, de manera que sólo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

La losa de concreto es relativamente delgada apoyada sobre una capa de subbase o directamente sobre la subrasante.

Como la losa tiene un módulo elástico mucho mayor que el de la capa en que se apoya; la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento la proporciona la propia losa, efecto conocido como acción de viga.

Los esfuerzos a que se ven sometidas las losas de concreto son producidos no solamente por la acción del tránsito, sino también por cambios cíclicos de temperatura y humedad así como por cambios volumétricos en los materiales de las capas de apoyo, lo cuál tiende a deformar las losas, produciendo esfuerzos de intensidad variable cuya magnitud se ve afectada a su vez por las condiciones de continuidad del soporte que ofrezcan las capas de apoyo.

En el análisis estructural de las losas de concreto se consideran los efectos producidos por la temperatura, humedad, fricción desarrollada entre las losas y la superficie de apoyo, las cargas aplicadas en magnitud y posición, así como las condiciones del soporte de las losas tales como su magnitud, uniformidad y permanencia.

Existen tres posiciones de las cargas sobre la losa:

- En una esquina.
- En el borde.
- En el interior de la losa.

En las cuales los esfuerzos producidos alcanzan niveles decrecientes en ese orden, razón por la cual debe recurrirse a elementos de transferencia de cargas en las juntas, a sobre anchos o a acotamientos de concreto para que se presenten siempre condiciones equivalentes a cargas aplicadas en el interior de las losas.

Las losas de los pavimentos de concreto se dividen usualmente en los siguientes tipos.

- De Concreto Simple Vibrado.
- De Concreto Reforzado.
- De Concreto Presforzado.
- De Concreto Fibroso.
- De Concreto Compactado con Rodillo.
- Sobrelosas de Concreto.

2.3.3.2. **SubBase**

Se define como subbase para pavimentos rígidos la capa de material que subyace a la losa de concreto; tiene como funciones, controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción. Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción del pavimento y en ocasiones puede constituir una capa drenante.

Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de losas y se construye por lo general con materiales granulares no cementados, los cuales, cuando el

tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar; generalmente con cemento portland, para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables, recurriéndose a subbase de grava-cemento y aún de concreto pobre.

Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se le denomina base, por su posición inmediatamente bajo la losa. Sin embargo, se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esa capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

Con la aplicación de la experiencia obtenida en la evaluación del comportamiento y de la tecnología moderna de los materiales, se pretende fomentar en el diseño de pavimentos de concreto el uso más integral y más económico de los suelos naturales que existan en el sitio de construcción del pavimento, es decir, cuando el tránsito es ligero y el material de la capa subrasante es de buena calidad, se puede suprimir la subbase, apoyando las losas directamente sobre la subrasante.

Por lo tanto, se debe analizar los requerimientos del diseño y decidir con un criterio racional si se necesita una capa de subbase o si se pueden proponer alternativas menos costosas para satisfacer los requisitos de un buen comportamiento.

La subbase debe fundamentalmente evitar el efecto de bombeo de los suelos finos. Este fenómeno consiste en la expulsión de una mezcla de suelos y agua con el paso de los vehículos, que tiene lugar por las juntas de losas, grietas y bordes del pavimento. Dichas condiciones se presentan frecuentemente en el caso de pavimentos importantes que soportarán un elevado volumen de tránsito pesado.

Las condiciones necesarias para producir dicho efecto no se tienen en caminos secundarios de bajo nivel de tránsito ni en calles residenciales. En estos últimos casos, la utilización de una capa de subbase no se justifica desde el punto de vista económico y los resultados

deseados se pueden lograr mediante la preparación adecuada y menos costosa de la subrasante.

Además, cuando se necesite la subbase, no es económico utilizar una capa gruesa con el fin de aumentar la capacidad estructural del pavimento, ya que la mayor parte de la capacidad estructural la proporciona la propia losa del mismo.

Por lo tanto, las funciones de la subbase se podrán clasificar como sigue:

- Principalmente para evitar el efecto de bombeo de finos.
- Para ayudar a controlar los cambios volumétricos ante condiciones severas de subrasante con importantes cambios volumétricos.
- Para ayudar a reducir la expansión diferencial excesiva por congelamiento.
- Para proporcionar una capa drenante.
- Para proporcionar una plataforma de trabajo más estable durante la construcción del pavimento.

Para la construcción de subbase se ha empleado con éxito una gran variedad de materiales y de granulometrías, tales como roca triturada, mezclas de grava y arena, arenas y gravas estabilizadas con suelos.

El criterio principal consiste en limitar la cantidad de finos que pasan la malla No. 200 y evitar el uso de agregados blandos, porque pueden producir finos por efectos de abrasión o degradación inducidos por el equipo de compactación y por el tránsito durante la construcción.

La subbase debe tener una granulometría relativamente constante para permitir que con el equipo de compactación se consiga un apoyo uniforme y estable, el cuál resulta esencial para un buen desempeño del pavimento.

Los cambios bruscos en la granulometría de la subbase pueden ser tan perjudiciales como los cambios bruscos en los suelos que forman la subrasante y/o terreno natural, por lo que la granulometría se debe mantener dentro de los límites de un solo tipo.

La subbase que cumple con la norma AASTHO, evitan de forma efectiva el efecto de bombeo, dicha especificación establece que el material granular para usarse como subbase de pavimentos de concreto puede estar formado por arena, mezclas de grava y arena, roca triturada o combinaciones de estos materiales. El material deberá cumplir con los requisitos mostrados en la tabla siguiente:

TABLA 2.2

REQUISITOS QUE DEBERA COMPLIR EL MATERIAL SUBBASE

Tamaño máximo	No mayor que la tercera parte del espesor de la subbase
Pasa la malla No.200, %, máx.	15
Índice de plasticidad, %, máx.	6
Límite líquido, %, máx.	25

Fuente: Pavimentos de Concreto para Carreteras, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2002.

Todas las granulometrías tipificadas en la tabla 2,3 abarca la subbase que pueden ser de granulometría uniforme y con permeabilidad de ligera a moderada, o bien graduadas y relativamente impermeables.

TABLA 2.3

REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DE MATERIALES PARA SUBBASE

Tamaño de la Malla (mm)	Porcentaje que pasa, en peso					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F
2" (50.8)	100	100	-	-	-	-

1" (25.4)	-	75-95	100	100	100	100
3/8" (9.5)	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
No.4 (4.7)	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No.10 (2.0)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No.40 (0.4)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200 (0.07)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Fuente: Pavimentos de Concreto para Carreteras, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2002.

2.3.3.3. Capa Subrasante

Constituye la capa superior de la terracería y puede estar formada por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado.

Sin embargo cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, se recurre a la utilización de materiales seleccionados procedente de un banco, o bien a su tratamiento con productos tales como cemento portland, cal, asfaltos, si el material es inadecuado.

Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

La capacidad de respuesta estructural de la subrasante se determina mediante el módulo de reacción k , que constituye uno de los principales parámetros de diseño de los pavimentos rígidos.

Teniendo en cuenta la elevada rigidez del concreto y el efecto de viga desarrollado por las losas de concreto, los niveles de esfuerzos y deformaciones producidos en la subrasante son muy bajos, de manera que no se requiere un elevado valor de soporte en dicha capa, siendo más importante que dicho efecto de soporte sea uniforme, condición que además debe mantenerse a través del tiempo.

El valor del módulo k , se determina mediante pruebas de placa, las que, aun cuando deben realizarse en la generalidad de los casos, con frecuencia se correlacionan con otros

indicadores, tales como los valores de CBR, módulo de resiliencia M_R e incluso la clasificación según criterio SUCS del material de la subrasante.

Sin embargo, dichas correlaciones deben considerarse útiles, principalmente para la elaboración de anteproyectos, pero en general no deben considerarse un sustituto de las pruebas directas en proyectos de cierta importancia.

En la medida en que el módulo de reacción k aumenta, el espesor necesario de la losa se reduce para iguales condiciones de tránsito y de resistencia de concreto, de manera que una mejoría en la calidad o resistencia de la capa subrasante se traduce en un ahorro en el espesor del concreto, el cual llega a ser significativo, hasta del orden de 10 por ciento, principalmente cuando se trata de pavimentos para tránsito intenso.

Es conveniente, así mismo, que el valor de este módulo no se reduzca con el tiempo, por lo que debe vigilarse la compactación de dicha capa, evitar variaciones en el contenido de agua así como la presencia de materiales arcillosos en la misma.

Debe mencionarse, por otro lado, que actualmente se están aplicando algunos métodos de diseño de espesores, principalmente del tipo mecánico-empírico, que se basan en la caracterización de los materiales utilizando el módulo de residencia M_R , que es una medida de las propiedades elásticas de los suelos, parámetros que ha sido reconocido internacionalmente como un medio para caracterizar los materiales para propósitos de diseño o evaluación de pavimentos.

Sin embargo, debido a que no es fácil determinar el módulo de residencia en el laboratorio, debe recurrirse a correlaciones con pruebas de CBR, inclusive propiedades índice de los materiales, como se mencionó anteriormente.

Debe señalarse la conveniencia de llevar a cabo una serie de estudios e investigaciones preliminares a lo largo de la ruta del proyecto, con el fin de determinar las características del suelo que soportará el pavimento y las cargas impuestas por el tránsito, de manera que si se juzga que tales características no son adecuadas para esta función, deberán colocarse materiales de mejor calidad, para formar dicha capa de apoyo o capa subrasante, teniendo

en cuenta, además, factores económicos ligados al costo inicial y a los de mantenimiento y operación en el ciclo de vida del pavimento.

En determinadas ocasiones es necesario recurrir a la estabilización de los materiales de la capa subrasante, principalmente cuando los materiales existentes no cumplen con las características deseadas y no es económico utilizar materiales seleccionados por encontrarse a grandes distancias de la obra.

También puede recurrirse a esta solución cuando las condiciones de drenaje son deficientes; se requiere que la capa subrasante constituya una plataforma de trabajo estable, o se necesite mejorar la trabajabilidad del material.

Los diferentes tipos de materiales requieren diferentes tipos de agentes estabilizadores, siendo los más comunes el cemento portland, los productos asfálticos y la cal.

Dichas capas tienen como fin satisfacer los siguientes propósitos:

- 1) Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito.

Un pavimento de asfalto debe estar constituido de tal manera que las cargas que sobre él se apliquen no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre la cual está colocado, y a la vez, se impida la formación de grietas internas en la estructura del mismo y el desplazamiento de partículas ocasionadas por la acción del tránsito. Por lo tanto un pavimento de asfalto debe tener el espesor necesario para soportar y distribuir las cargas del tránsito.

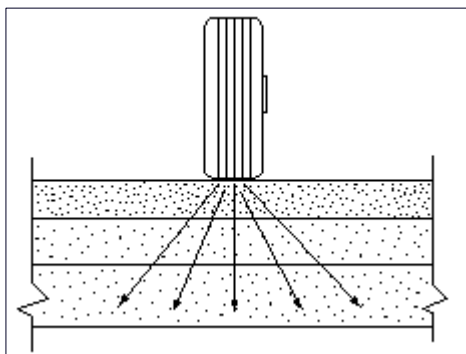


Fig. 2.8

2) Tener la impermeabilidad necesaria.

El pavimento debe tener la suficiente impermeabilidad para impedir la infiltración del agua de lluvia, ya que si ésta penetra en exceso provoca la lubricación de las partículas con su consiguiente pérdida en la capacidad de soporte. De esto se deduce que siempre será buena práctica ingenieril el que se cuente con suficiente drenaje al proyectarse un pavimento, ya que incorporado ello a la impermeabilidad necesaria del pavimento en sí, redundará en una obra estable.

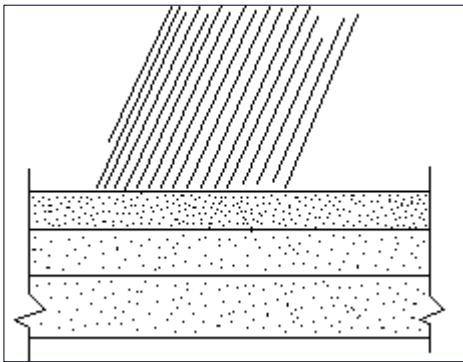


Fig. 2.9

3) Resistir la acción destructora de los vehículos.

La acción abrasiva de las llantas de los vehículos provoca desgaste de la superficie y desprendimiento de partículas del pavimento. También el tránsito provoca cierta acción de molienda y amasado. De ahí que el pavimento deba resistir estos efectos.

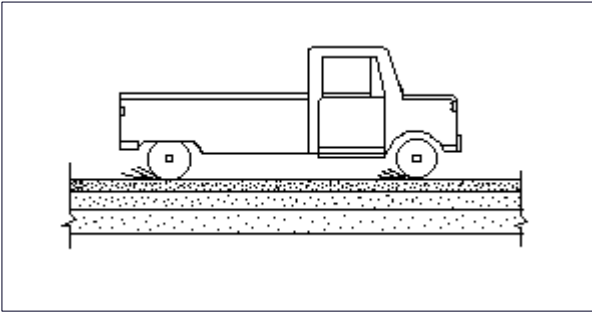


Fig. 2.10

4) Tener resistencia a los agentes atmosféricos.

Los agentes atmosféricos actúan continuamente sobre la superficie de los pavimentos provocando la meteorización y alteración de los materiales que lo forman. Es de tenerse en cuenta que hay materiales que resisten mejor que otros estos efectos y por lo tanto la vida económica y útil del pavimento será mayor cuando los materiales que lo formen tengan más capacidad de resistencia a los agentes físicos y químicos.

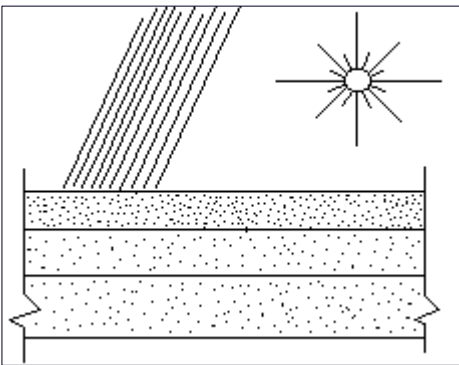


Fig. 2.11

5) Tener una superficie de rodamiento adecuada que permita en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

La superficie de rodamiento de un pavimento debe de ser segura para la condición de los vehículos y lo suficientemente lisa para proporcionar una marcha confortable y una larga vida de los vehículos, sin embargo, esa superficie lisa y uniforme debe ser siempre antideslizante cuando se encuentre húmeda.

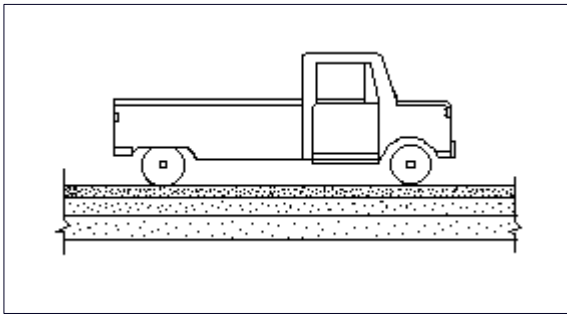


Fig. 2.12

6) Presentar cierta flexibilidad para adaptarse a algunas fallas de la base o súbbase. En no pocas ocasiones, por una u otra circunstancia, generalmente controlables, se presentan pequeños asentamientos ya sea de la base o de la súbbase, los cuales no son en extremo perjudiciales, de ahí que convenga que el pavimento tenga cierta flexibilidad que la haga capaz de adaptarse a esas pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

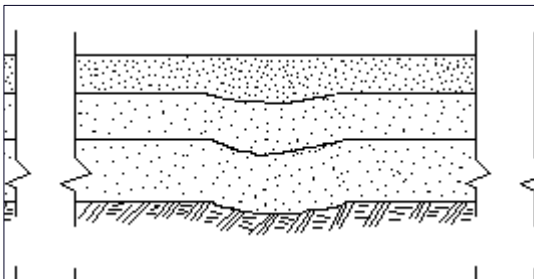


Fig. 2.13

Además podemos decir que debe cumplir con ciertas características, tales como:

- Resistencia estructural
- Deformabilidad
- Durabilidad y
- Costo

2.3.3.4. Resistencia estructural

La estructura de un pavimento flexible, debe proyectarse y constituirse de forma que pueda sustentar las más elevadas frecuencias de tráfico y cargas por eje, distribuyendo las presiones y tensiones impuestas; reduciéndolas en magnitud, hasta que puedan ser soportadas con seguridad por el terreno natural.

Por ello, se deben ponderar dos aspectos al momento de diseñar; que son:

1. La capacidad de carga que deberán tener las capas constituyentes del pavimento.
2. La capacidad de carga de la subrasante.

El primer punto, es indicativo de que el espesor del pavimento, debe calcularse para asegurar un comportamiento satisfactorio durante largo tiempo, teniendo en cuentas las condiciones del tráfico, las características del terreno y los materiales de construcción. Esto exige, usualmente, que se empleen materiales de resistencia y valor cada vez más elevados. Las características de los materiales a ser utilizados, influirán en el espesor de cada una de las capas componentes del pavimento y, por lo tanto en el espesor total.

En cuanto al análisis de la capacidad de carga de la subrasante, se puede decir que es de vital importancia, ya que al constituir el nexo de unión entre el pavimento y la terracería, debe cumplir la función de soportar, y a su vez, transmitir los esfuerzos a la terracería hasta niveles convenientes.

2.3.3.5. Deformabilidad

El problema de la deformabilidad de los pavimentos, tiene un planteamiento opuesto al de la resistencia, porque dada la naturaleza de los materiales que forman sus capas, la

deformabilidad crece hacia los niveles inferiores. Por lo tanto, desde este punto de vista, la deformabilidad resulta ser importante a niveles relativamente profundos, y esto, debido a dos aspectos:

1. Porque las deformaciones excesivas están asociadas con estados de falla.
2. Y porque un pavimento deformado, puede dejar de cumplir sus funciones, independientemente a que las deformaciones hayan conducido a un colapso estructural.

Cada vez que una carga ha hecho su paso, ocurre alguna deformación en la superficie y en las capas inferiores. Si la carga es excesiva, sus aplicaciones repetidas ocasionarán asperezas y agrietamientos, los que finalmente conducen a un hundimiento total.

Las deformaciones que se pueden presentar en un pavimento son de dos tipos: Elástica y Plástica.

a. Deformación elástica

Esta ocurre cuando la carga viva o carga por rueda, deforma temporalmente los materiales de la cimentación, comprimiendo el aire que llena los huecos de la base y subrasante. En la deformación verdaderamente elástica, la superficie regresa a su posición original después de que la carga a hecho su paso, de modo que no se produce una falta de uniformidad permanente, aún, bajo aplicaciones repetidas de la carga.

b. Deformación plástica

Ocurre cuando la presión del fluido y del aire dentro de los poros de la infraestructura, material de cimient o pavimento, se combina con fuerzas producidas por la carga para desplazar el material del camino. La deformación resultante es progresiva bajo la repetición de la carga y constituye la causa principal del hundimiento de la superficie del camino.

Un problema muy complejo radica en medir la deformación que el pavimento va ha sufrir realmente bajo la carga, por lo que en la actualidad, los métodos de diseño, consideran una cierta deformabilidad que este dentro de límites tolerables.

La estimación de las deformaciones elásticas, es posible hacer con razonable precisión conociendo los materiales que constituirán el pavimento, obteniendo su módulo de deformación por medio de alguna de las diversas pruebas de campo que hoy existen, y que pueden realizarse sobre terraplenes de prueba en las condiciones consideradas críticas. La prueba más utilizada es la del deformímetro BENKELMAN.

Una vez determinado el módulo de deformación de las diferentes capas, la deformación elástica puede ser determinada en base a las teorías dadas para tal efecto.

La medición de las deformaciones plásticas se ha atacado con criterios puramente empíricos, cuyo aprovechamiento por los métodos de diseño, requiere de extrapolaciones experimentales; por ejemplo, la diversidad de las cargas se refiere a una carga única llamada estándar, resultado de estudios estadísticos en tramos experimentales o carreteras sometidas a la acción de tránsito real o clasificado. Se intenta que la carga estándar tome en cuenta el efecto de repetición, pues al definirla, se ha correlacionado su propio efecto destructivo con el que causarían las cargas reales con sus repeticiones respectivas.

Una vez fijado el tránsito “de análisis”, lo que suele hacerse actualmente en todos los métodos de diseño que toman en cuenta estos parámetros, es prefijar, con base experimental, una deformación permanente máxima, diseñándose el pavimento de manera que ésta se presente únicamente al final de la vida útil prevista.

2.3.3.6. Durabilidad

Las incertidumbres prácticas ligadas a la durabilidad de un pavimento flexible son grandes y difíciles de tratar, porque no se conoce ningún método de diseño que tome en cuenta los requisitos de durabilidad de un modo cuantitativo. Lo único evidente, es el hecho de que la durabilidad de una determinada vía, está íntimamente ligada con los trabajos de conservación que puedan realizarse en la vía.

El costo

El costo para la construcción de una carretera, está en función directa del tipo de pavimento elegido y de los materiales que intervendrán en su estructura, porque una subrasante resistente, será capaz de tolerar niveles de esfuerzo relativamente altos, pudiendo usar sobre

ella, capas de espesores reducidos sin comprometer la estabilidad general, lo que conduciría a generar ahorros en la inversión.

2.4. DIMENSIONAMIENTO EN PAVIMENTOS

Muchas variables determinan directa o indirectamente los requerimientos de espesor para losas de concreto.

Incluir todas ellas en un solo método de diseño sería excesivo y complejo por lo que podría llevar a una sobre confianza en el diseño como forma de garantizar un buen desempeño del piso.

Algunas veces la deficiencia en la mano de obra en lugar de un mal diseño o especificación son las causas de un mal comportamiento de los pavimentos.

Dado que la parte superior de un pavimento es la que evalúa el usuario, normalmente se pone mayor atención a la construcción de la parte superficial de la losa que al diseño del espesor de la losa.

Sin embargo, por razones de diseño estructural se debe escoger un espesor de losa. Basado en extensos estudios y muchas prácticas de laboratorio,

Se indicará el proceso de dimensionamiento de acuerdo a los métodos de diseño de espesores más utilizados a nivel mundial.

2.4.1.- MÉTODO AASTHO

a.1) Determinación del espesor del pavimento

El procedimiento incluido en la Guía AASHTO determina el espesor **D** de un pavimento de hormigón para que éste pueda soportar el paso de un numero W18 de ejes equivalentes de 18 kilolibras (8,2 t) sin que se produzca una disminución en el índice superior a un cierto valor Δ **PSI**. Dicho índice de servicio **PSI** es un valor que se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches), y que se ha comprobado que tiene una buena correspondencia con la calificación subjetiva que dan al mismo los usuarios. La fórmula que relaciona las tres variables anteriores es la siguiente:

Ecuación General AASTHO:

$$\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1} \right] \frac{1.624 \times 1}{1 + \frac{1.624 \times 1}{(D + 1)^8}} \log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 1}{(D + 1)^8}} \log_{10} W_{18} = Z_F$$

$$+ (4.22 - 0.32p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S_c * C_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c / k)^{0.25}} \right]} \right] + (4.22 - 0.32p_t)$$

En donde:

- **W₁₈**: Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 t, a lo largo del periodo de proyecto.
- **Z_R**: Fractil de la ley normal asociado al nivel de fiabilidad con el que se desea proyectar el pavimento.
- **S_o**: Desviación estándar que combina por una parte la desviación estándar media de los errores de predicción del tráfico durante el periodo de proyecto, y por otra la desviación estándar de los errores en la predicción del comportamiento del pavimento (expresado en ejes de 8.2 t) al alcanzar un determinado índice de servicio terminal.
- **D**: Espesor del pavimento de hormigón (en pulgadas).
- **ΔPSI**: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
- **P_t**: Índice de servicio final.
- **S_c**: Resistencia media del hormigón (en psi, libras por pulgada cuadrada) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz).
- **C_d**: Coeficiente de drenaje.
- **J**: Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

- **E_c**: Módulo de elasticidad del hormigón, en psi.
- **K**: Módulo de reacción o de balasto (en psi, libras por pulgada cúbica) de la superficie (base, sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de hormigón.

Para facilitar la utilización de la fórmula anterior se ha preparado el monograma representado en la (Anexo I). En lo que se refiere a dichas variables, puede hacerse sobre las mismas las siguientes consideraciones:

A. **W₁₈** (ejes simples equivalentes de 8.2 t) **a lo largo del periodo de proyecto**

El W₁₈ es el número o la cantidad de ejes simples equivalentes de 8.2 t, que circulan por el tramo en estudio a lo largo del período de proyecto. Es obvio que no circularan solo ejes de 8.2 t, entonces el método AASHTO requiere la transformación a ejes simples equivalentes al valor indicado anteriormente de los ejes de diferentes pesos que circularán sobre el pavimento a lo largo del periodo de proyecto. Para ello la AASHTO en su Guía ha incluido una serie de tablas con factores de conversión, las cuales dependen de varios parámetros: clase de pavimento (flexible o rígido), tipo de eje (simple, tándem, tridem), índice de servicio final y, en el caso de pavimentos rígidos, espesor del pavimento. Para estos últimos se han preparado nueve tablas, combinando cada uno de los tres tipos de ejes con tres valores del índice de servicio final: 2,0;2,5 y 3,0.

En general, los factores de las tablas se ajustan aproximadamente a la ley:

$$N_1 = \left(\frac{P_1}{18} \right)^4$$

Si bien el exponente puede oscilar entre valores cercanos a 4:3,8;4,5.....

En lo que se refiere al periodo de proyecto, se indica que en general, éste debe ser superior a 20 años, a fin de poder evaluar mejor las distintas alternativas a largo plazo. Se recomienda incluso que el periodo de análisis incluya al menos una rehabilitación.

Según el tipo de carretera se sugieren periodos de proyecto indicados en la siguiente tabla:

TABLA 2.4

PERIODOS DE PROYECTO A ADOPTAR EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA

TIPO DE CARRETERA	<i>PERIODO DE PROYECTO (años)</i>
Urbana de tráfico elevado	30 – 50
Interurbana de tráfico elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tráfico	15 – 25
De baja intensidad de tráfico pavimentada con zahorra.	10 – 20

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

El tráfico a tener en cuenta es el que utiliza el carril de proyecto. Se admite que en general, en cada dirección circula el 50% del tráfico total (aunque en ocasiones puede variar entre el 30% y el 70%) y que, dependiendo del número de carriles en cada dirección, puede suponerse que sobre el carril de proyecto circulan los porcentajes de tráfico en dicha dirección que figuran en la tabla siguiente:

TABLA 2.5

DISTRIBUCIÓN DEL TRÁFICO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE CARRILES

Nº DE CARRILES EN CADA DIRECCION	PORCENTAJE DE EJES SIMPLES EQUIVALENTES DE 18 kips EN EL CARRIL DE PROYECTO

1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

B. Parámetro Z_R

Si se supone que para un determinado conjunto de variables definiendo un pavimento (espesores de las capas, características de los materiales que las componen, condiciones de drenaje.) el tráfico que puede soportar el mismo a lo largo de un determinado periodo de proyecto sigue una ley de distribución normal, con una media M_t y una desviación típica S_0 , mediante la tabla de dicha distribución se puede obtener el valor Z_R asociado a un nivel de fiabilidad R , de forma que haya una probabilidad igual a $1-R/100$ de que el tráfico realmente soportado sea inferior al valor $N-Z*S_0$. Por ejemplo, para un nivel de fiabilidad R del 95%, Z_R es igual 1,96; valor que se incrementa a 2,58 si $R=99\%$.

C. Desviación estándar S_0

Tal y como se ha indicado en el párrafo anterior, representa la desviación estándar conjunta que engloba por una parte la desviación estándar de la ley de predicción del tráfico en el periodo de proyecto, y por otra la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, del número de ejes que puede soportar el pavimento hasta que su índice de servicio descienda por debajo de un determinado valor p_t .

La Guía de la AASHTO recomienda adoptar para S_0 valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

- pavimentos rígidos: 0.3 - 0.4;
- pavimentos flexibles: 0.4 - 0.5

Por otra parte en la guía se sugiere los niveles de fiabilidad indicados en la tabla, de acuerdo con el tipo de carretera de que se trate.

TABLA 2.6
NIVELES DE FIABILIDAD A ADOPTAR EN FUNCIÓN DEL TIPO DE
CARRETERA

TIPO DE CARRETERA	NIVEL DE FIABILIDAD	
	URBANA	INTERURBANA
Autopistas y carreteras importantes	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Principales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO



D. Índice de servicio final p_t y variación PSI en el índice de servicio.

La selección del índice de servicio final p_t debe basarse en el índice más bajo que pueda ser tolerado antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción.

Se sugiere para el mismo un valor de 2.5 o incluso superior para las carreteras de mayor tráfico y de 2.0 para tráficos menos importantes. En cuanto al índice de servicio inicial p_0 , que a su vez interviene para determinar la variación $\Delta PSI = p_0 - p_t$, éste depende de la calidad de la construcción. En los pavimentos del ensayo AASHTO, p_0 alcanzó un valor medio de 4,5 en las soluciones rígidas, y de 4,2 en las flexibles.

1. Coeficiente de drenaje C_d .

El valor del mismo depende de dos parámetros: la calidad del drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento esta expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual, y de las condiciones de drenaje. La Guía define cinco calidades de drenaje, de acuerdo con la Tabla 2.7.

TABLA 2.7

CALIDADES DE DRENAJE

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	(el agua no se evacua)

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

Combinando las variables anteriormente indicadas, se recomienda adoptar para C_d los valores indicados en la Tabla 2.8.

TABLA 2.8

VALORES DEL COEFICIENTE DE DRENAJE C_d

CALIDAD DEL DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN EL QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	MENOS DEL 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	MAS DEL 25 %
Excelente	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10

			1,10 – 1,00	
Bueno	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,00 – 0,90	1,00
Mediano	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	0,90 – 0,80	0,90
Malo	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,80 – 0,70	0,80
Muy malo	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80		0,70

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

1. Coeficiente de transmisión de cargas J.

Este factor se introduce para tener en cuenta la capacidad del pavimento de hormigón para transmitir las cargas a través de la discontinuidad (juntas o grietas). Su valor depende de varios factores:

- El tipo de pavimento (en masa, armado con juntas, con armadura continua);
- La existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas (pasadores en los pavimentos con juntas, armaduras en los armados continuos);
- El tipo de arcén (de hormigón cosido al pavimento o flexible).

En función de estos parámetros, la Tabla 2.9 contiene los valores del coeficiente J.

TABLA 2.9

VALORES DEL COEFICIENTE J DE TRANSMISIÓN DE CARGAS

ARCEN	FLEXIBLE		DE HORMIGÓN	
	SI	NO	SI	NO
DISPOSITIVOS DE TRANSMISIÓN DE CARGAS				
▪ En masa o armado con juntas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
▪ Armado continuo	2,9 – 3,2		2,3 – 2,9	

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

De cada intervalo de variación se recomienda adoptar los valores más altos cuanto menor sea el módulo de balasto, mas elevado el coeficiente de dilatación térmica del hormigón y más amplias las variaciones de temperatura.

Por el contrario, en los casos de carreteras de poco tráfico, soportando un número reducido de camiones, puede irse a los valores más bajos de J. Puesto que entonces habrá menos pérdida del efecto de engranaje entre los áridos.

1. Módulo de elasticidad E_c del hormigón

Se recomienda determinarlo de acuerdo con el procedimiento descrito en las normas, o en su defecto, correlacionarlo con otras características del material, como puede ser su resistencia a compresión.

Por ejemplo el valor que puede adoptar es de $2.82 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$.

1. Factor de pérdida de soporte LS.

Este parámetro viene a indicar la potencial pérdida de apoyo de las losas debida bien a la erosionabilidad de la sub-base o bien a asientos diferenciales de la subrasante; y aunque no aparece de forma explícita en la fórmula de diseño para la obtención del espesor, si interviene de forma indirecta a través de una reducción del módulo de reacción efectivo k de la superficie en que se apoyan las losas. En la tabla 2.10 se indican los valores de LS recomendados para distintos tipos de bases y sub-bases.

TABLA 2.10

VALORES DEL FACTOR DE PERDIDA DE SOPORTE LS EN FUNCION DEL TIPO DE BASE O SUB-BASE.

TIPO DE BASE O SUB-BASE	FACTOR DE PERDIDA DE SOPORTE LS
Bases granulares tratadas con cemento ($E:70.000 \text{ a } 140.000 \text{ kp/cm}^2$)	0,0 a 1,0

Sub-bases tratadas con cemento	(E:35.000 a 70.000 kp/cm ²)	
Bases asfálticas	(E:25.000 a 70.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Sub-bases estabilizadas con asfalto	(E:3.000 a 20.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Estabilizaciones con cal	(E:1.500 a 10.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Materiales granulares sin tratar	(E:1.000 a 3.000 kp/cm ²)	1,0 a 3,0
Suelos finos y subrasantes naturales	(E:200 a 3.000 kp/cm ²)	1,0 a 3,0
		2,0 a 3,0

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

En el caso de que, aún utilizándose sub-bases no erosionables, pudiesen producirse en la subrasante asientos diferenciales (por ej. Por la existencia de arcillas expansivas o por excesivo hinchamiento durante la época de heladas) deberán adoptarse para LS valores comprendidos entre 2,0 y 3,0.

1. Módulo de reacción k de la superficie en la que se apoya el pavimento (o módulo efectivo de la subrasante).

El soporte que presta la superficie de apoyo al pavimento se expresa con el valor del módulo de reacción k , cuyos valores para el diseño de pavimentos están indicados en la siguiente tabla:

TABLA 2.11

VALORES DEL MODULO “K”

“K”	TIPO DE SUELO	COMPORTAMIENTO
2.8 kg/cm ³	limo arcilla	satisfactorio
5.5 kg/cm ³	arenoso	bueno

8.3 kg/cm³	grava arenosa	excelente
------------------------------	----------------------	------------------

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

Estos valores de k dependen de varios factores:

- El módulo resiliente de la subrasante
- El espesor de la sub-base
- El módulo de elasticidad de la sub-base

Para la determinación del módulo de elasticidad de la sub-base pueden utilizarse una serie de correlaciones con otros parámetros:

- En el caso de bases o sub-bases granulares, el índice CBR, el valor R utilizado en California o el resultado del ensayo triaxial de Texas. Se recomienda, no obstante, que el método de elasticidad de una sub-base granular no sea más de cuatro veces superior al de la subrasante sobre la que apoya.
- En el caso de bases tratadas con cemento, la resistencia a compresión a los 7 días.
- En el caso de una base asfáltica, la estabilidad Marshall.

Dado que el valor del módulo resiliente de la subrasante puede variar a lo largo del año, para determinar el valor del módulo k hay que realizar un proceso iterativo:

- En el caso de que bajo la subrasante haya un estrato de roca a una profundidad menor de 3 m, el módulo de reacción compuesto obtenido en el paso anterior se corrige.
- Se adopta un valor inicial arbitrario para el espesor de la losa;

1. **Determinación del espesor (D) del pavimento.**

Una vez definidos los valores de los distintos parámetros, entrando con los mismos en la ecuación general del método AASHTO o bien en la fig. 3-II (Ver anexo I) se obtiene el espesor de losa necesario. El valor deducido debe redondearse a la media pulgada más próxima.

2.4.2.- MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND (PCA)

A continuación se describen los lineamientos generales del método Portland Cement Association (PCA).

Factores de diseño:

a) Resistencia a la flexión del concreto

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

El alabeo de pavimentos de concreto, bajo las cargas del tráfico, provoca esfuerzos tanto de compresión como de flexión. Sin embargo, la proporción de los esfuerzos a compresión contra la resistencia a la compresión del concreto, es mínima como para influir en el diseño de espesor de la losa. En cambio la relación de los esfuerzos a flexión contra la resistencia es mucho más alta y frecuentemente excede valores de 0.5. Por este motivo los esfuerzos y la resistencia a la flexión son los empleados para el diseño de espesores. La resistencia a la flexión del concreto es determinada por la prueba del módulo de ruptura, realizada en vigas de 6 x 6 x 30 pulgadas.

El módulo de ruptura puede encontrarse aplicando la carga en cantiliver, punto medio ó en 3 puntos. Una diferencia importante en estos métodos de prueba es que al aplicar la carga

en 3 puntos se obtiene la mínima resistencia del tercio medio de la viga de prueba, mientras que los otros dos métodos muestran la resistencia en un solo punto.

El valor determinado por el método de aplicación de carga de 3 puntos es el empleado en este método de diseño.

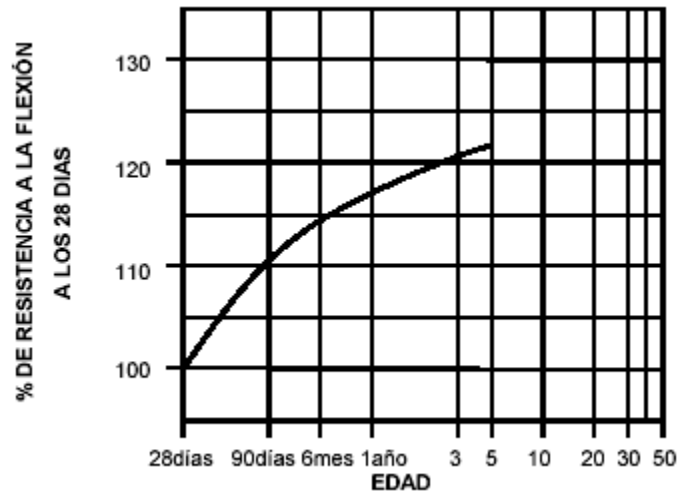
La prueba del módulo de ruptura es comúnmente realizada a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados a los 7 y 14 días son comparados contra especificaciones de control de calidad y para determinar cuando puede ser abierto al tránsito un pavimento.

Los resultados a los 28 días se han usado, generalmente, para el diseño de espesores de autopistas y calles; mientras que los resultados 90 días son usados para el diseño de aeropistas, esto es debido a que se presentan muy pocas repeticiones de esfuerzos durante los primeros 28 ó 90 días del pavimento, comparado contra los millones de repeticiones de esfuerzos que ocurrirán posteriormente.

Sabemos que el concreto continúa ganando resistencia con el paso del tiempo, como lo muestra la fig. 2.14. Esta ganancia de resistencia es mostrada en la curva que representa valores de módulo de ruptura (MR) promedios para varias series de pruebas de laboratorio, pruebas de vigas curadas en campo y secciones de concreto tomadas de pavimentos en servicio.

FIGURA 2.14

RESISTENCIA A FLEXION



En este procedimiento de diseño los efectos de las variaciones en la resistencia del concreto, de punto a punto del pavimento, y el incremento de resistencia con el paso del tiempo, están incorporados en las gráficas y tablas de diseño. El diseñador no aplica directamente estos efectos, sino que simplemente ingresa el valor de la resistencia promedio a los 28 días.

b) Terreno de apoyo o base

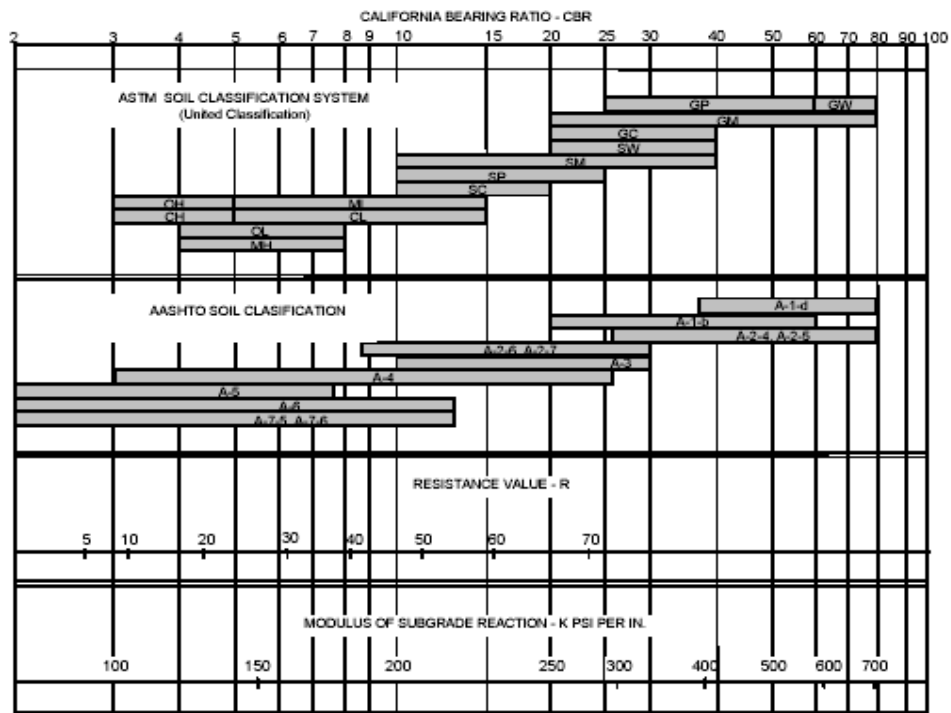
El soporte dado a los pavimentos de concreto por la sub-base, es el segundo factor en el diseño de espesores. El terreno de apoyo está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Westergard (k). Es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada (un plato de 30" de diámetro) dividido entre la deformación en pulgadas que provoca dicha carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (psi/in) ó más comúnmente, por libras por pulgada cúbica (pci).

Dado que la prueba de placa toma tiempo y dinero, los valores de k son usualmente estimados mediante una correlación de pruebas más simples como la del CBR (Valor Relativo de Soporte). El resultado es válido porque no se requiere una exacta determinación del valor k ; ya que variaciones normales de este no afectan significativamente los requerimientos del espesor del pavimento. La relación mostrada en la fig. 2.15 es correcta para estos propósitos.

La prueba de caminos AASHTO comprobó, convincentemente, que la reducción de pérdida de terreno de soporte durante los periodos de descongelamiento no tienen efecto en el espesor requerido de los pavimentos de concreto. Esto es cierto porque los pocos periodos en que los valores k son bajos durante el descongelamiento de la primavera se compensan con los largos periodos en que se congelan y los valores de k son mucho mayores que los asumidos para el diseño.

El contar con una sub-base permite incrementar el valor k del suelo que deberá usarse en el diseño de espesor.

FIGURA 2.15



Si la base es de material granular no tratada o mejorada, el incremento puede no ser muy significativo, como se aprecia en los valores presentados en la Tabla 9-II.

TABLA 2.12

INCREMENTO DEL VALOR “K” SEGÚN EL ESPESOR DE UNA BASE GRANULAR

"K" del Suelo (pci)	<i>Espesor de la sub-base</i>			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

Los valores mostrados en la Tabla 2.12 están basados en el análisis de Burmister de un sistema de dos capas y cargado en pruebas de placa, hechas para determinar los valores k del conjunto suelo-sub-base, en losas de prueba completas.

Las bases mejoradas o tratadas con cemento aportan mayor capacidad de carga y su comportamiento a largo plazo es mucho mejor y son muy empleadas para pavimentos de concreto con tráfico pesado. Se construyen con materiales regulares como los tipos de suelos AASTHO A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3, el contenido de cemento es determinado mediante las pruebas de Congelación-Descongelación y Mojado-Secado y el criterio de pérdidas admisibles de la PCA.

Los valores de diseño del módulo de sub-reacción (k) para bases cementadas que cumplen con este criterio se muestran en la Tabla 2.13.

TABLA 2.13
INCREMENTO DEL VALOR "K" SEGÚN EL ESPESOR DE UNA BASE GRANULAR
CEMENTADA

"K" del Suelo (pci)	<i>Espesor de la sub-base</i>			
	4"	6"	9"	12"
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640

200	470	640	830

Fuente: Diseño de Pavimento AASTHO

c) Periodo de diseño

En término de período diseño es algunas veces considerado sinónimo de período de análisis de tráfico. Dado que el tráfico muy probablemente no puede ser supuesto con precisión por un período muy largo, el período de diseño de 20 años es el comúnmente empleado en el procedimiento diseño de pavimentos. El periodo diseño seleccionado afecta el espesor de diseño ya que determina por cuantos años y por ende para cuantos camiones deberá servir el pavimento.

d) Número de repeticiones esperadas para cada eje

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

Repeticiones esperadas

$$Re = TPDA * \%Te * FS * FC * Pd * FCA * 365$$

Donde:

TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual.

%Te = % del TPDA para cada tipo de eje

FS = Factor de sentido

FC = Factor de carril

Pd = Periodo de diseño

FCA = Factor de Crecimiento Anual

365 = Días de un año

Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El TPDA puede obtenerse de aforos especializados o de algún organismo relacionado con el transporte, ya sea municipal, estatal o federal. Lo importante es que se especifique la composición de este tráfico, es decir que se detalle el tráfico por tipo de vehículo, para que de esta manera se pueda identificar los tipos y pesos de los ejes que van a circular sobre pavimento.

El método de diseño de la PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprece todo el tráfico ligero como automóviles y pick-ups de cuatro llantas, debido a que el tráfico ligero no influye demasiado en el diseño de espesores.

Factor de crecimiento anual (FCA)

Para conocer el factor de crecimiento anual se requiere únicamente el período de diseño, en años, y la tasa de crecimiento anual.

TABLA 2.14
FACTORES DE CRECIMIENTO ANUAL SEGÚN LA TASA DE CRECIMIENTO

FACTORES DE CRECIMIENTO		
Tasa de Crecimiento Anual	Factor de Crecimiento Anual	Factor de Crecimiento Anual para 40 años
1.0	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2.0	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3.0	1.3	1.8

3.5	1.4	2.0
4.0	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5.0	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6.0	1.8	3.2

Con la ayuda de la Tabla 2.14 podemos calcularlo de manera rápida, ya que presenta relaciones entre tasas de crecimiento anual y factores de crecimiento anual para periodos de diseño de 20 y 40 años.

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

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

Donde:

FC = Factor de crecimiento Anual

n = Vida útil en años

g = Tasa de Crecimiento Anual

El factor de proyección se multiplica por el TPDA presente, para obtener el TPDA de diseño representando el valor promedio para el periodo.

Factor de sentido

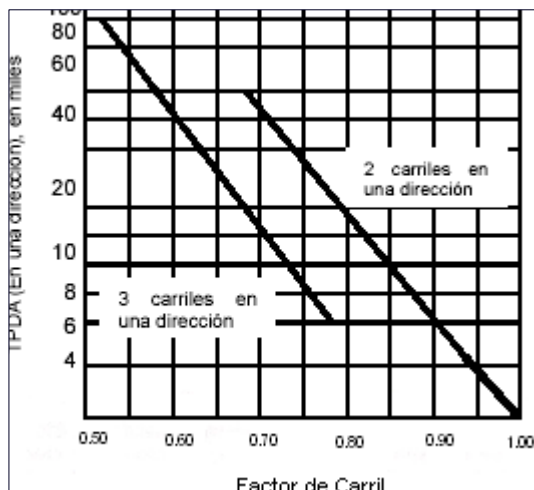
El factor de sentido se emplea para diferenciar las vialidades de un sentido de las de doble sentido, de manera que para vialidades en doble sentido se utiliza un factor de 0.5 y para vialidades en un solo sentido un factor de 1.0.

En el caso de vialidades de doble sentido, generalmente se asume que el tránsito (en sus diferentes tipos y pesos) viaja en igual cantidad para cada dirección (FS=0.5). Sin embargo esto puede no aplicarse en algunos casos especiales en que muchos de los camiones viajan cargados en una dirección y regresan vacíos, si éste es el caso, se deberá hacer el ajuste apropiado y tomar en cuenta el sentido con mayor tráfico.

Factor de carril

Después de ser afectado el tráfico por el factor de sentido, también debemos analizar el número de carriles por sentido mediante el factor de carril. Este factor da el porcentaje de vehículos que circulan por el carril de la derecha, que es el de más tráfico. Para esto, la PCA recomienda emplear la fig. 2.16, en donde este factor depende del número de carriles por sentido o dirección del tráfico y del tránsito promedio diario anual en un solo sentido.

FIGURA 2.16



a) Factor de seguridad carga

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

Los factores de seguridad de carga recomendados son:

- 1.3 Casos especiales con muy altos volúmenes de tráfico pesado y cero mantenimiento.
- 1.2 Para Autopistas o vialidades de varios carriles en donde se presentará un flujo ininterrumpido de tráfico y altos volúmenes de tráfico pesado.
- 1.1 Autopistas y vialidades urbanas con volúmenes moderados de tráfico pesado.
- 1.0 Caminos y calles secundarias con muy poco tráfico pesado.

2.4.3. Procedimiento de diseño.-

El método es empleado una vez que ya tenemos los datos del tráfico esperado, como el tránsito diario promedio anual y la composición vehicular del tráfico. Con esta información obtenemos el número de repeticiones esperadas para cada tipo de eje durante el periodo de diseño. El método presenta un formato empleado para resolver el diseño de pavimentos, el cual requiere de conocer algunos factores de diseño:

- Tipo de junta y acotamiento.
- Resistencia a la flexión del concreto (MR) a 28 días.
- El valor del módulo de reacción “K” del terreno de apoyo.
- Factor de seguridad de la carga (LSF).
- Número de repeticiones esperadas durante el periodo de diseño para cada tipo y peso de eje.

El método considera dos criterios de diseño:

- Fatiga
- Erosión

El análisis por fatiga (para controlar el agrietamiento), influye principalmente en el diseño de pavimentos de tráfico ligero (calles residenciales y caminos secundarios independientemente de si las juntas tienen o no pasajuntas) y pavimentos con tráfico mediano con pasajuntas.

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

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

El diseño del espesor se calcula por tanteos con ayuda del formato de diseño de espesores por el método de la PCA.

2.5. VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

Ambos métodos de diseño son apropiados para el diseño de espesores de pavimentos rígidos en cualquier tipo de proyecto; sin embargo, el método AASHTO hace intervenir un mayor número de variables que nos ayudarían a modelar de mejor manera las condiciones del proyecto al momento de estar diseñando su espesor.

Los resultados del método de la PCA son adecuados para cualquier tipo de proyecto a pesar de que no se puedan tomar en cuenta algunos factores importantes como lo son la serviciabilidad inicial y final. En cambio considera de una manera más real la contribución del tráfico en la formulación.

2.6. PROCESO CONSTRUCTIVO EN PAVIMENTOS

1. Conformar **terracerías** con respecto al trazo y niveles especificados en el proyecto. Es conveniente pedir asesoría a un laboratorio calificado en la materia para que realice revisiones periódicas de las superficies mediante, los estándares de supervisión, referentes al valor relativo de soporte (VRS) y al espesor y grado de compactación de los suelos.



FIG.2.17



FIG. 2.18

2.El segundo paso consiste en elaborar el cimbrado, cuidando que se coloque siguiendo el alineamiento y los niveles que indique la brigada de topografía. Una vez terminado el proceso, será preciso revisar nuevamente los niveles de la cimbra con un topógrafo especializado.



FIG 2.19

3. Para el tendido del concreto se deberá, primero, humedecer la superficie que recibirá la mezcla, con el fin de evitar que el suelo absorba agua del concreto. Posteriormente, el material deberá esparcirse por todo lo ancho del pavimento.



FIG 2.21

5. El texturizado deberá efectuarse mediante el uso de una tela de yute húmeda, que será arrastrada en sentido longitudinal al pavimento. En su defecto, puede usarse pasto sintético.



FIG. 2.22

6. Para el curado del concreto deberá emplearse una membrana de la marca y cantidad que especifique el proyecto.

En el proceso de curado deberá utilizarse un aspersor manual. Este procedimiento se realizará en seguida del texturizado.





FIG.2.23

6. El corte de juntas se realiza con máquinas especiales que cuentan con discos de diamante y elaboran incisiones en el concreto de forma transversal y longitudinal.



FIG. 2.24

7. La limpieza de juntas se hace mediante la inyección de agua a presión sobre las incisiones, también manual dependiendo de la envergadura del pavimento. Posteriormente se secarán los bordes con aire, se colocará un agente sellador dentro de la junta y una cintilla de respaldo.



FIG. 2.25

2.7. CONSERVACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Desde un punto de vista general, las actividades de explotación y de conservación han de descubrir doobjetivos generas grupos de les. El primero de ellos se relaciona con el servicio que se debe presentar a los usuarios. En ese sentido, las actuaciones se dirigirán a asegurar una circulación segura, cómoda y fluida por la red de manera que los costes globales de transporte sean los menores posibles. En el segundo grupo de objetivos hay que incluir fundamentalmente la preservación del valor patrimonial de la red viaria, que forma parte de la riqueza de una nación.

Las características iniciales de un pavimento se van degradando con el transcurso del tiempo debido al paso de los vehículos y a la acción del clima. Todas las operaciones tendentes a restituir en lo posible esas características pueden ser consideradas como parte de la conservación del pavimento. Con un criterio más amplio, pueden incluirse también las actuaciones dirigidas a tratar de homogeneizar la calidad de la red, las que tienen como objetivo una adecuación a los nuevos criterios de trazado, las de adaptación del firme a las crecientes solicitudes de tráfico, las que se refieren a la corrección de errores e insuficiencias de la construcción, etc.

Algunas actuaciones de conservación deben ser ejecutadas ya al poco tiempo de la puesta en servicio del pavimento y a partir de ese momento con una cierta periodicidad; se trata en general de actuaciones de reducida envergadura, menor que las llevadas a cabo en la fase de construcción. Constituyen lo que se denomina **conservación ordinaria**. Sin embargo, otras actuaciones, llevadas a cabo sólo en determinados momentos de la vida del pavimento y en general antes que se haya transcurrido cierto número de años, tienen una entidad comparable a la de la construcción inicial. Estas últimas actividades reciben el nombre de **rehabilitaciones**.

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta es que al construcción y la conservación están en estrecha relación. Un pavimento proyectado y construido con amplitud para el tráfico que va a soportar tendrá probablemente algunos gastos de conservación menor, pero es preciso analizar si la reducción de gastos de conservación compensa el mayor coste inicial. Al contrario un pavimento proyectada y construida con un coste estricto puede llevar a unos gastos de conservación excesivos e incluso prohibitivos.

GESTIÓN ADMINISTRACIÓN Y FINANCIACIÓN

EXPLOTACIÓN

Y

CONSERVACIÓN

PLANIFICACIÓN

PROYECTO

CONSTRUCCIÓN

FIG. 2.26

CICLO DE VIDA DE LA ACTIVIDAD VIARIA

En ese sentido, hay que considerar además que los trabajos de conservación provocan unos costes adicionales a los usuarios como consecuencia de las demoras y de los accidentes que pueden sufrir. En cualquier caso, al ir completándose las redes de carreteras planificadas en los países desarrollados, las necesidades de inversión se desplazan de la construcción de nuevas vías a la conservación de las existentes.

Desde el punto de vista concreto de los firmes y pavimentos, que son elementos de la carrera que en general requieren unos mayores esfuerzos de conservación, las actuaciones se dirigen a cuatro objetivos particulares:

- Una adecuada resistencia del pavimento al deslizamiento para que proporcione una seguridad suficiente a los vehículos.
- Una seguridad superficial acorde al trazo de la vía y las velocidades normales de circulación, de manera que la rodadura sea cómoda para el usuario, sin olvidar que la falta de comodidad puede redundar también en inseguridad.
- Una resistencia estructural suficiente para el tráfico, considerando que lo contrario se traduce en una disminución del valor patrimonial del pavimento.
- Mantener la integridad de la superficie para que se pueda desarrollar una circulación segura y cómoda y se preserve la estructura del firme y su cimiento.

Un pavimento correctamente proyectado y construido requiere poca conservación: eventual sellado de juntas y grietas, reconstrucción de alguna losa, restauración de la macro textura, etc. Estas superaciones sean simplificado notablemente gracias al empleo de nuevos materiales (resinas sintéticas, hormigones superplastificados, tratamientos superficiales) y pequeñas herramientas específicas (serradoras, fresadoras, escarificadoras).

Durante las últimas décadas ha sido precisó rehabilitar o reconstruir muchos pavimentos antiguos de hormigón en diversos países. A las soluciones tradicionales de repavimentación

con mezclas bituminosas se ha añadido otras de recrecimientos con pavimento de hormigón. También se ha empleado con éxito el reciclado para la sustitución parcial de pavimentos agotados en vías de dos o más vías por sentido.

2.8 TIPOLOGÍA DE LOS PAVIMENTOS

El concreto hidráulico es un material de empleo corriente en edificaciones, en otras obras de ingeniería civil y en las obras de arte.

Las calzadas rígidas se utilizan como una estrategia de construcción y mantenimiento muy diferentes de la de las estructuras flexibles o semirrígidas, y están caracterizadas por:

- Inversiones un poco más elevadas en el momento de la construcción.
- Ausencia casi total de trabajos de mantenimiento.
- Mantenimiento preventivo muy reducido y para tráfico muy bajos, durante la vida de servicio.

Por tales razones, esta estrategia se adapta muy bien en los siguientes casos:

- Vías con tráfico muy pesado intenso, en las cuales las restricciones son muy inconvenientes para los usuarios y costosas para las empresas gestoras de la obra. Otro caso son las autopistas urbanas y suburbanas, para las cuales el costo de la calzada es muy bajo en comparación con los costos de utilización.
- Vías concebidas durante períodos de muy baja inflación.
- Calzadas aeronáuticas y en especial las áreas de estacionamiento.

Una concepción correcta de calzadas nuevas y los refuerzos en concreto evita grandes costos futuros.

Las cantidades de materiales puestos en este tipo de pavimento son menores en comparación con otras estructuras de pavimento. El uso óptimo de los recursos locales o regionales en ligantes y granulares es esencial, pero siempre habrá que tener en cuenta que los requerimientos que se deben satisfacer son muy diferentes, según la importancia del tráfico y la naturaleza de la capa del pavimento.

2.8.1. PAVIMENTOS DE CONCRETO DE LOSA ARMADA

Estas losas cuentan con un refuerzo metálico a base de malla de alambre electro soldados o de varilla corrugada, colocada preferentemente en el tercio superior del espesor de la losa, con la finalidad de mantener unidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en las losas largas; de esta manera se incrementa la separación entre juntas reduciendo en consecuencia su número, lo cual es ventajoso para reducir los problemas que las juntas traen consigo.

Este tipo de losas ha caído relativamente en desuso a causa de su costo, y solamente se utiliza en casos y zonas especiales, generándose más bien el uso de losas con refuerzo continuo, en las cuales suelen suprimirse las juntas transversales a costa de aumentar la cantidad del acero de refuerzo de alto límite elástico.

Si bien el concreto puede presentar fisuras con abertura inferior a medio milímetro a cortas distancias de separación, éstas son imperceptibles al usuario y no progresan bajo el efecto del tránsito.

Aún cuando su costo es muy elevado, estos pavimentos se utilizan ampliamente en autopistas con tránsito muy pesado, en las cuales se desea una conservación prácticamente nula.

La supresión de las juntas transversales mejora además sustancialmente la calidad de rodamiento.

Debe mencionarse que el refuerzo proporcionado en este caso puede reducir ligeramente el espesor del pavimento.

2.8.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO DE LOSA CONTINUA

Son los pavimentos más comúnmente empleados y están constituidos por concreto en masa, divididos mediante juntas longitudinales y transversales para formar elementos generalmente cuadrados o con relación largo/ancho de 1 a 1.25, salvo en superficies de ancho variable, donde se apartan de dicha forma pero adoptando en todo caso formas rectangulares, sin ángulos agudos.

La separación entre juntas normalmente varía entre cuatro a seis metros, y para favorecer el efecto de la transferencia de carga entre ellas, las juntas se construyen en forma especial

(machihembradas) cuando son longitudinales o bien aserradas para debilitar el espesor de la losa y provocar una fractura controlada, generándose la transferencia de cargas por efecto de fricción y trabazón mecánica entre sus caras.

Además, para mantener unidas las losas contiguas y asegurar el efecto de transferencia de carga entre ellas, especialmente bajo la acción de los ejes de vehículos pesados, se disponen pasajuntas metálicas, de varillas lisas en el caso de juntas transversales, y de varillas corrugadas llamadas barras de sujeción en las juntas longitudinales.

En algunos diseños se omiten estos elementos, pero a cambio de ello, se construyen subbase rígidas y no erosionables como concreto pobre, grava-cemento y se restringe la longitud de las losas a unos cuatro metros.

2.8.3. PAVIMENTOS DE CONCRETO DE LOSA CON PASADORES Y PASAJUNTAS

Los diseños de sistemas de juntas para pavimentos de concreto en carreteras, sirven para controlar el agrietamiento, conservar la capacidad estructural del pavimento y la calidad de rodamiento con bajos costos anuales de mantenimiento. Un considerable porcentaje de deterioros en pavimentos de hormigón se atribuyen a fallas en juntas, los deterioros resultantes de la falla de una junta incluyen: desnivel, bombeo, desportilladuras, rotura de esquinas, exposición de agregados y fisuras en media losa.

Características que contribuyen a un desempeño satisfactorio de juntas, tales como adecuada transferencia de cargas y adecuada consolidación del hormigón se identifican a través de investigación y experiencias de campo. La incorporación de estas características en el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de hormigón, deben resultar en juntas capaces de desempeñarse satisfactoriamente en la vida del pavimento.

El agrietamiento por contracción del hormigón ocurre a muy temprana edad, debido a cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por pérdida de agua por evaporación. Esta contracción se encuentra restringida por fuerzas de fricción desarrolladas entre superficies en contacto de la losa con la sub base, generando esfuerzos de tensión del hormigón que provocan fisuración transversal en el pavimento.

La separación y el ancho de las fisuras transversales dependen, entre otras cosas, del tipo de material de la capa de apoyo. Cuando se tienen sub bases rígidas, el patrón de agrietamiento se presenta con separaciones cortas y poco anchas, mientras que en sub bases granulares se presentan separaciones mayores, aunque con mayor ancho.

La fisuración también puede ocurrir a edades mayores cuando el hormigón ya se encuentra endurecido, como consecuencia de gradientes térmicos y humedad, debido a los cuales las losas experimentan alabeos, con cambios de forma y curvatura sensibles en el transcurso del día y de la noche. Los agrietamientos térmicos modifican el sentido de la curvatura de las losas, pasando de cóncavo durante la noche a convexo hacia abajo durante el día. La construcción adecuada y oportuna, así como un diseño adecuado, son elementos clave para lograr un sistema de juntas que se comporte correctamente. El sellado eficiente es un aspecto crítico para mantener el funcionamiento adecuado del sistema de construcción de juntas.

La necesidad de un sistema de construcción de juntas en pavimentos de concreto, es el resultado de la necesidad de controlar el agrietamiento transversal y longitudinal. El agrietamiento se produce por los efectos combinados de la contracción por secado del concreto, los cambios de humedad y temperatura, las cargas transmitidas por el tráfico, la restricción de la sub base y ciertas características de los materiales.

Para diseñar un sistema adecuado de juntas en pavimentos se deberán analizar las siguientes consideraciones:

Condiciones ambientales: Los cambios de temperatura y humedad inducen movimientos en la losa que originan a su vez concentraciones de esfuerzos, alabeo y ondulación.

Espesor de la losa: El espesor del pavimento afecta los esfuerzos de ondulación y las deflexiones debidas a transferencia de carga.

Transferencia de cargas: Es necesario a través de cualquier junta de pavimento, sin embargo, la magnitud de la transferencia necesaria de carga varía según el tipo de junta. Cuando se usan pasa juntas o varillas de sujeción, el tipo y diámetro de las varillas escogidas será un factor que se deberá tomar en cuenta para el diseño de juntas.

Tráfico: La clasificación del tráfico, canalización, desviaciones de vehículos y

predominancia de cargas de borde, afecta los requisitos de comportamiento a largo plazo.

Características de los materiales para concreto: Los materiales seleccionados para fabricar el concreto determinan la contracción, el agregado grueso afecta el coeficiente térmico del concreto y los materiales de mala calidad tienen un efecto perjudicial en el comportamiento de las juntas.

Tipos de sub-base: Los valores de apoyo y las características de fricción entre superficies de contacto de los diferentes tipos de sub-bases, afectan el movimiento y apoyo de losas.

Características del sellador: La separación de la junta afecta el tipo de sellador de juntas seleccionado. Los factores de forma adecuados y costos de ciclo de vida también influyen en la selección del sellador.

Diseño del acotamiento: El tipo de acotamiento afecta el apoyo en los bordes y la capacidad de las juntas de eje principal para transferir la carga. Los carriles externos ampliados han resultado efectivos para conservar la transferencia de cargas.

Comportamiento histórico: Los registros locales de comportamiento constituyen una fuente excelente para establecer el diseño de las juntas. Sin embargo, las mejoras hechas a diseño anteriores aplicando la tecnología actual y nuevos materiales puede mejorar significativamente el comportamiento.

2.8.4. TIPOS DE JUNTAS

Las juntas permiten la contracción y expansión del pavimento, lo cual libera de tensiones a la losa. Básicamente existen tres tipos de juntas:

Juntas de contracción: Son las que se construyen para controlar las fisuras por liberación de tensiones debidas a temperatura, humedad y fricción.

Juntas de expansión. Son las que permiten el movimiento del pavimento sin dañar las estructuras adyacentes (puentes y alcantarillas).

Juntas de contracción. Son las que se colocan al final del día de trabajo o por otro tipo de interrupción el hormigonado. Preferentemente deben coincidir con una junta de contracción.

a) Espaciamiento entre juntas

El espaciamiento entre juntas de contracción en pavimentos de hormigón simple depende de muchos factores como ser condiciones locales (materiales y medio ambiente). Tienen una gran importancia en el control de las fisuras transversales como se ve en la figura 2.7

**CANTIDAD DE FISURAS TRANSVERSALES EN FUNCIÓN
DE LA LONGITUD DE LA LOSA
DE ACUERDO A ESTUDIOS TÉCNICOS DE MINNESOTA Y MICHIGAN**

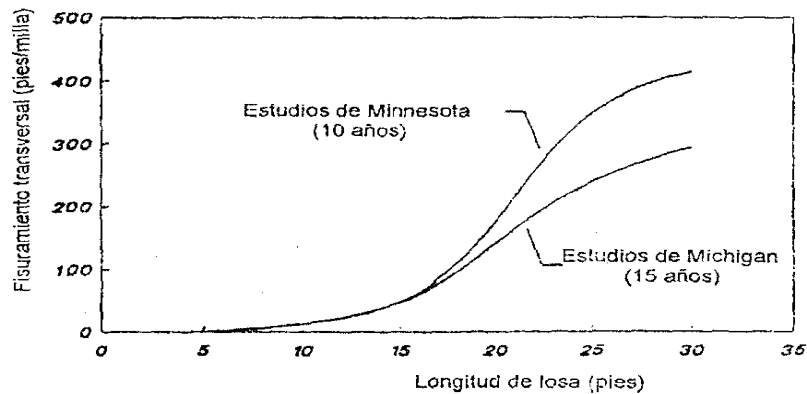


Figura 9.11. Cantidad de fisuras transversales en función de la longitud de la losa, de acuerdo a estudios hechos en Minnesota y Michigan

FIG. 2.27

La AASHTO recomienda que el espaciamiento entre juntas en pies no supere dos veces el espesor de la losa en pulgadas. Como 1 pie equivale a 12 pulgadas, el espaciamiento máximo debe ser 24 veces el espesor de la losa. Por otro lado, el espaciamiento no debe ser mayor que 1.25 veces el ancho de la losa. Siempre se debe usar el menor de ambos valores.

Para el caso de pavimentos de hormigón armado con juntas, el espaciamiento máximo puede ser de 9.1 m (30 pies). Sin embargo, este valor también resulta excesivo y se debería reducir.

b) Juntas Oblicuas (esviajadas)

Son juntas que se ubican a un cierto ángulo con respecto a la línea central. Se ubican en el sentido contrario a las agujas del reloj con respecto a la dirección del tránsito, de manera tal que el ángulo obtuso en el borde externo esté en la losa de adelante. El esviaje a adoptar es

de 0.60 por carril, lo cual da un ángulo de 80° con la línea central. El objetivo de las juntas oblicuas es minimizar el efecto de fallas de juntas, ya que reciben alternadamente la carga de una u otra rueda y no las dos simultáneamente. De esta manera se logra mejorar la calidad del pavimento. (Figura 2.13).

Es importante explicar que el ángulo de esviaje no deber ser muy grande para que no se produzcan fisuras cerca de las juntas y que esta solución no puede emplearse cuando se usan canastillos para barras pasa juntas puesto que las mismas deben ser paralelas al eje y construir un canastillo de esas características y colocarlo perfectamente alineado no es una tarea fácil, sin embargo existen algunos insertadores automáticos de barras montados sobre pavimentadoras deslizantes que permiten el colocado de barras enviajadas garantizando su correcta alineación. Únicamente en este caso sería recomendable esta solución con barras de transferencia, de lo contrario su uso quedaría restringido al caso de losas sin pasadores.

JUNTAS OBLICUAS O ESVIAJADAS

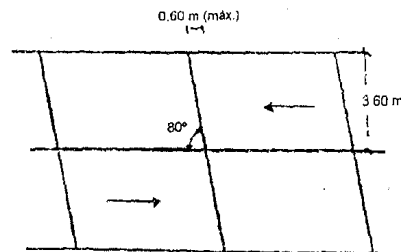


Figura 9.13. Juntas oblicuas o enviajadas

FIG. 2.28

Las ventajas de las juntas oblicuas son:

- Reducción de tensiones y deflexiones en juntas.
- Menor reacción de impacto en los vehículos cuando cruzan las juntas.

c) **Espaciamiento entre juntas al azar**

También llamado “random spacing”, consiste en colocar una serie de distintos espaciamientos que se repiten según un patrón determinado. Se lo hace para evitar la

resonancia en vehículos cuando transita a una determinada velocidad en una calzada con una separación constante entre juntas. Se lo recomienda para el caso en que la máxima separación entre juntas no excede de 4.6 m (15 pies). Es un aspecto poco utilizado y considera el uso de un patrón de distintas separaciones entre juntas, de acuerdo a investigaciones se mostró que los patrones del espaciamiento de la losa de 2.30 m o menos deben ser evitados. (Guía de diseño AASHTO, Parte 2, Capítulo 3 inciso 3.3.2)

d) Transferencia de cargas en juntas

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa la siguiente a través de las juntas para minimizar las deflexiones en las mismas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la sub base y posteriormente fisuración. La transferencia de cargas en juntas se puede lograr mediante trabazón entre agregados o mediante dispositivos mecánicos llamados barras pasadoras o pasa juntas. Como se verá más adelante las barras pasa juntas se colocan en las juntas transversales que son las más solicitadas por el tráfico, sin embargo, la junta longitudinal también está sujeta al paso de camiones de un carril a otro y aunque en menor magnitud requiere de transferencia de cargas.

Puesto que la junta longitudinal en el caso de carreteras cuenta con una barra de amarre, la misma no se separa lo que maximiza la interacción de agregados. Las barras de amarre son normalmente de 12 mm y también cooperan con la transferencia

ILUSTRACIÓN DEL CONCEPTO DE TRANSFERENCIA DE CARGAS

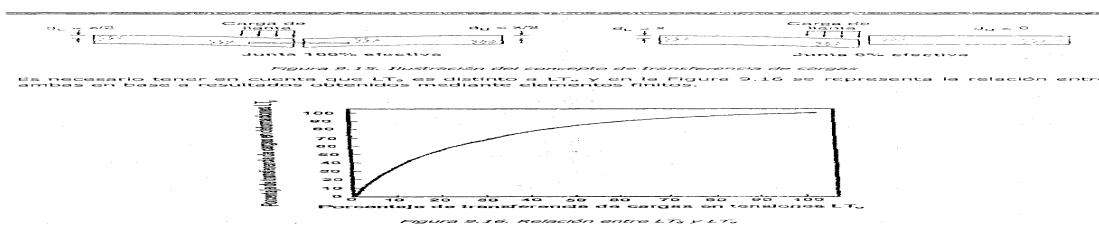


FIG. 2.29

Generalmente se recomiendan transferencia de carga en deflexiones del 75% o más, pero siempre teniendo en cuenta la magnitud de las deflexiones o tensiones. Por ejemplo un pavimento puede tener altos valores de LT_{δ} , pero en esquinas sus losas pueden sufrir

grandes deformaciones y tensiones que pueden llevar al bombeo de finos y posterior rotura.

En el diseño, la diferencia de una transferencia de cargas está presente en la elección del valor J , pero su único efecto en el cálculo es incrementar o reducir el espesor de losa. Esto no es un fiel reflejo de la realidad dado que losas de gran espesor bajo condiciones de tránsito pesado pueden tener bombeo y fallas si no se colocan barras pasadoras.

El mecanismo de trabazón entre agregados para juntas sin pasadores disminuye cuando la junta se abre. Si la abertura es mayor de 0.76 a 0.89 mm desaparece la trabazón entre agregados. Esto significa a colocar juntas más próximas. Es recomendable colocar siempre barras pasadoras, dejando las juntas si barras (trabajan por trabazón entre agregados) para caminos de bajo tránsito, pavimentos urbanos o en zonas de poca amplitud térmica.

Las características de los pasadores no requieren de grandes cálculos. Las dimensiones recomendadas por AASHTO son:

$$\text{Diámetro de pasadores} = 1/8 \text{ espesor de losa}$$

$$\text{Longitud} = 18 \text{ pulgadas (45 cm)}$$

$$\text{Espaciamiento} = 12 \text{ pulgadas (30 cm)}$$

Se recomienda embeberlas con pintura anticorrosiva, para prevenir la corrosión y posteriormente colocarles una capa muy delgada de grasa o aceite sucio para permitir su libre movimiento. Este antiadherente puede colocarse en la mitad de la barra o en toda la barra, recomendándose esta última opción para facilitar el deslizamiento de la barra. En caso de utilizar equipos de alto rendimiento con insertadores automáticos de barras, las barras deben llevar un barniz antiadherente y de ninguna manera grasa o aceite sucio.

2.8.5. Formación de Juntas y Dimensiones del Reservorio

a) Profundidad inicial de la junta

La profundidad de las juntas longitudinales y transversales debe ser tal que asegure que la fisura tendrá lugar en este sitio. La profundidad de la misma debe ser:

$$\text{Juntas transversales} = 1/4 \text{ espesor de losa}$$

$$\text{Juntas longitudinales} = 1/3 \text{ espesor de losa}$$

La manera más común de hacer la junta es por aserrado y es quizás la más efectiva. La parte crítica de este método es elegir bien el momento en que el mismo será ejecutado. Un aserrado ejecutado muy pronto puede provocar un desportillamiento del hormigón en las adyacencias de las juntas y un aserrado muy tardío producirá fisuras por la retracción del hormigón. Este tiempo es muy variable y depende de las condiciones de curado y de dosificación del hormigón.

b) **Determinación de las dimensiones para el reservorio de juntas**

Para determinar las dimensiones del reservorio para ubicación del material de sellado se requiere considerar los movimientos de apertura y cierre de la junta y tipo de material de sellado a usar. La apertura y cierre depende de la longitud de la losa, cambios de temperatura, coeficiente térmico del hormigón y la fricción entre losa y sub base.

La apertura media en una junta es:

$$\Delta L = C \cdot L \cdot [(\alpha_c \cdot T) + Z]$$

$$\Delta L = C \cdot L \cdot [(\alpha_c \cdot T) + Z]$$

Ec. 2.11

Donde

ΔL : Apertura de junta por variaciones de temperatura y contracción por secado (mm)

α_c : Coeficiente de contracción térmica del hormigón ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

T : Rango de temperatura

Diferencia de temperatura en el momento de vaciado del hormigón y la mínima ($^{\circ}\text{C}$).

Z : Retracción por secado del hormigón

L : Espaciamiento entre juntas (mm)

C : Factor de ajuste, función de la fricción entre losa y sub base.

$C=0.80$ para sub base granular no tratada. $C=0.65$ para sub base estabilizada.

El ancho de junta requerido es:

$$W = \frac{\Delta L}{S} W = \frac{\Delta L}{S}$$

Ec. 2.12

Donde

W : Ancho de juntas de contracción

ΔL : Apertura de junta debido a cambios de temperatura y contracción por secado del hormigón.

S : Deformación específica admisible del material de sellado.

Asfalto $S=0.25 \text{ mm/mm}$ (25%) y para selladores de siliconas $S=0.50 \text{ mm/mm}$ (50%).

Para selladores formados in situ, la profundidad del reservorio se determina en función del factor de forma deseado para la junta (relación ancho/profundidad).

Este factor de forma depende de la naturaleza del sellador y varía entre 0.5 y 2.0, con un valor típico de 1.0 para selladores asfálticos y de 2.0 para selladores de silicona.

Los selladores prefabricados se colocan en las juntas a presión y deben quedar comprimidos entre un 20 y 50 % de su ancho normal durante toda su vida. En este caso, las dimensiones del reservorio son aconsejados por el fabricante

c) Limitaciones en el Método de Diseño Aashto

Las limitaciones son las siguientes:

- Variabilidad. Las ecuaciones anteriores están basadas en tramos de pavimentos muy cortos, donde la construcción y el control de calidad han sido excelentes. En la realidad, con tramos más largos, la variabilidad en la construcción y materiales será mucho mayor y como resultado aparecerán fallas localizada aun antes de alcanzar la serviciabilidad final. Esto se salva considerando niveles de confiabilidad altos (mayores del 50%)
- Limitación en materiales y sub rasantes. La fórmula de diseño fue probada y verificada con los materiales y sub rasantes del AASHTO Road Test. Para distintos materiales es de esperar otro comportamiento del pavimento, pero este

inconvenientes se salva usando valores de entrada apropiados.

- Período de análisis muy reducido para el Road Test. Los periodos de análisis o de vida útil en los proyectos reales son mucho mayores que los analizados en el AASHO Road Test, y en éste se pudieron analizar las fallas por efecto del tránsito, pero no las debidas a efectos climáticos que tardan más tiempo en desarrollarse (por ejemplo: corrosión de armadura, levantamiento de juntas por congelamiento, fisuras de durabilidad, reacciones álcali agregado). Por eso es de esperar que los pavimentos construidos en zonas de clima riguroso duren menos de lo previsto. En zonas de clima moderado, los pavimentos pueden llegar a durar más de lo previsto.
- Diseño de juntas. En el AASHO Road Test sólo se usaron pavimentos con juntas con pasadores. La ausencia de pasadores o el uso de otro dispositivo de transferencia de cargas pueden cambiar notablemente la vida útil del pavimento. El tipo de base puede modificar también la transferencia de cargas. Las recomendaciones para considerar la transferencia de cargas a través del coeficiente d son poco claras, motivo por el cual se debería limitar el uso de los valores extremos, especialmente de los muy bajos.
- Diseño de armaduras. El cálculo de armaduras longitudinales en pavimentos de hormigón con juntas tiene muchas simplificaciones. En primer lugar, se supone que la losa está totalmente libre, lo cual no es rigurosamente cierto. Si hay una cierta restricción en una o más juntas, habrá un incremento en las tensiones del acero que pueden provocar fluencia o rotura.. Tampoco se tiene en cuenta el efecto de corrosión de armadura. Por último el efecto de las cargas repetidas de tránsito no está considerado en la determinación de las armaduras longitudinales.

Para pavimentos de hormigón continuos se desprecia el efecto de la fricción de la sub base, que se cree que puede llegar a ser un factor crítico determinante. También el ancho admisible de fisura de 1 mm (0.04 pulg) puede considerarse muy alto, siendo recomendable un valor de 0.58 mm

- Clima: El comportamiento de los pavimentos de hormigón no es independiente de las condiciones climáticas. Dado que el AASHTO Road Test fue hecho en dos años, los efectos climáticos para este caso no tuvieron el mismo efecto que tienen para un

pavimento real, aún sometido a la misma sollicitación de cargas, pero en un período mucho mayor (20 – 40 años). La corrosión en el acero tarda varios años en desarrollarse, lo mismo que las reacciones entre álcalis y agregados.

- Factores equivalentes de carga: Estos factores son válidos para los materiales del AASHTO Road Test, la composición del pavimento, la pérdida de servicio y el tipo de subrasante. La extrapolación de estos valores a otras condiciones no está bien conocida, pero es cuestionable además los camiones usados actualmente difieren mucho de los de la década del 50.
- Tránsito no mixto. El AASHTO Road Test consideraba vehículos con idénticas configuraciones de ejes, lo que no ocurre en la realidad donde los vehículos con idénticas configuraciones de ejes, lo que no ocurre en la realidad donde los vehículos tienen distintas configuraciones. El procedimiento de convertir un número equivalente de ejes de 80 KN (18 kips) no ha sido verificado in situ.
- Falta de directivas en la elección de varias variables de entrada. La pérdida de soporte y el coeficiente de drenaje tienen una gran influencia en el espesor de la losa, pero hay muy pocas directivas en lo que concierne a su correcta elección. Finalmente, el método AASHTO permite determinar el espesor de losa, pero no da directrices en cuanto a la determinación de espesor de subbase.

CAPÍTULO III

PAVIMENTOS DE CONCRETO DE ARENA

3.1. INTRODUCCIÓN

La importancia de las comunicaciones se demuestra, en el estudio de la historia, por el hecho de su auge, en las épocas de máximo esplendor de la civilización y su abandono en las de decadencia; la vía y la vida se perfeccionan y declinan en el transcurso de los siglos.

El hombre, en cuanto forma una agrupación social elemental, siente la preocupación de las comunicaciones, para buscar los medios de sustento y entrar en relación con sus semejantes y ,cuando los grupos sociales van integrándose y llegan a adquirir una importancia social, a estas necesidades del individuo se une la aspiración colectiva de una expansión exterior, comercial, económica y cultural. La problemática de la existencia de una buena red de carreteras nos conduce a ser parte de las soluciones y pone en manifiesto la necesidad de un estudio objetivo para la conservación de nuestras carreteras.

En la actualidad se ha establecido la trascendencia económica en la construcción, evaluación y conservación de las carreteras, por el impacto en la economía de los países se produce, de tal manera que es de gran importancia determinar la eficiencia económica de las decisiones adoptadas. La construcción de las carreteras se encuentran en la actualidad altamente mecanizada, contando con equipo y maquinaria muy versátiles ,lo que permite obtener altos rendimientos de producción y altos niveles de calidad de acabado, dichos parámetros de rendimiento deberán permitir la programación para mantener las carreteras operando en niveles de calidad preestablecidos, aspectos indispensables que fundamentan y encaminan el fortalecimiento económico de un país.

3.2. PRINCIPIOS DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO DE ARENA

El inicio del uso de los concretos de arena se remota al siglo XIX, en 1853 en Francia, F. Coignet investigo y utilizo lo que el denomino el “concreto aglomerado” con la idea de realizar construcciones económicas y resistentes, este concreto aglomerado compuesto de arena, cenizas, arcillas cocidas y cal hidráulica constituyo el ancestro del concreto de arena.

Posteriormente en 1869, en Port Said en Egipto fue construido un faro de concreto de arena de playa y cal hidráulica, mientras en EE.UU.se construía un puente en Brookling con un concreto similar la misma época.

Pero el avance mas importante se dio en Rusia por Nicolas de Rochefort en 1918. Es en Rusia donde se desarrolla el concreto de arena, pues en este país existen bastas regiones ricas en arena pero carentes de gravas. Es asi, desde 1940 sean realizado en Rusia numerosas obras en concreto de arena tales como pistas de aeropuertos, carreteras, edificaciones, túneles y otros.

En Francia en raíz de las restricciones en extracción de grava en los lechos de los ríos se desarrollo en algunas regiones el concreto de arena dentro el proyecto SABLOCRETE en el marco de un programa nacional de utilización de materiales locales, MATERLOC.

A medidas de los años 90 se realizan las primeras pruebas de un pavimento de este tipo en Aquitania (Sur Oeste francés) zona rica en arena pobre en gravas.

Luego de esta primera prueba se han realizado varias otras en pavimento de concreto de arena coya performance se encuentra aun en estudio.

La ciudad de Iquitos fundada en 1864 constituye el principal puerto pluvial de la Amazonia y sus perpectivas futuras son de un gran crecimiento. A medidas del siglo XX se inician las construcciones de concreto con el gran problema de la carencia de gravas en la zona, las cuales debían ser traídas de canteras muy alejadas.

Posteriormente y básicamente por razones económicas se comienza a utilizar en mayor escala el concreto de arena tanto en edificaciones como en calzadas.

Debemos señalar que si bien el uso de concreto de arena en pavimento, constituyen una opción interesante, tiene algunas limitaciones que deberán tomarse en cuenta.

En consecuencia, su dimensionamiento deberá realizarse con mayores coeficientes de seguridad de un pavimento rigido tradicional, por otro lado es recomendable cubrir el pavimento con una delgada capa asfáltica debido a su menor resistencia a la abrasión, sobre

todo si se trata de arenas finas. Especial cuidado deberá tenerse con las juntas de pavimento tanto de contracción y dilatación, como de construcción.

3.3. COMPONENTES DE LOS CONCRETOS DE ARENA

El cemento.- es un material que une los fragmentos detríticos (arenas o gravas) de ciertas rocas clásticas (areniscas o conglomerados). En general el cemento de estas rocas se origina por precipitación química, siendo las sustancias cementantes mas frecuentes la sílice, los carbonatos y los óxidos de hierro. El cemento es un polvo seco hecho de sílice, alúmina, cal, oxido de hierro y oxido de magnesio, que se endurece cuando se mezcla con agua.

Las arenas.- estas podrán ser de granulometría variada y no se exige ningún criterio granulométrico especial, se puede usar tanto una arena homometrica, tipo de arena de duna, como un aluvional mediana o gruesa. La restricción al uso de arenas se requiere más bien al uso de arenas limpias, de sustancias dañinas en general. En el caso de Iquitos las arenas son muy finas (modulo de fineza de 1.0 a 1.6)pero generalmente limpias y libres de contaminación.

Las gran finura de la arena nos lleva en el caso mencionado a altos contenidos de cemento del rededor de 11.0 a 12.5 bolsas de cemento, para concreto de 175kg/cm² y 210kg/cm² respectivamente.

Los finos de adición.- se utilizan generalmente para corregir la curva granulométrica de la arena y aumentar de esa forma la compacidad de concreto y eventualmente reducir la cantidad de cemento reemplazándolo por estos elementos finos. Esos elementos finos o filleres, pueden ser activos como cenizas volantes o puzolanas o inertes como arena molida o filler calizo.

Los aditivos.- aunque en general para los concretos de arena se pueden usar los mismos aditivos que para los concretos adicionales, según las circunstancias. Aquellos que parecen ser muy apropiados son los plastificantes o superplastificantes, con el objeto de mejorar las propiedades del concreto de arena y las fibras para aminorar las fisuras por contracción.

MATERIALES – FUNDACIÓN

La capacidad portante del suelo en pavimentos es sumamente importante y adquiere una dimensión mayor en el caso de pavimentos de concreto de arena.

Vamos a considerar tres casos:

Suelo débil. ($CBR \leq 3$ ó $3 < CBR \leq 6$) en estos casos se deberá realizarse un cuidadoso tratamiento del suelo, mediante mejoramiento con cemento o cal, otra opción es la construcción de un solado de concreto pobre.

Suelo heterogéneo de buena capacidad portante. Deberá usarse una capa compactada, de 10 cm entre el suelo nivelado y compactado y la carpeta.

Suelo homogéneo de buena capacidad portante. La estructura del pavimento se podrá construir directamente sobre el suelo compactado y nivelado.

JUNTAS

En el caso de los pavimentos de concreto de arena, las juntas de los diversos tipos revisten especial interés, desde que la transferencia de esfuerzos a estas es mas débil que en los concretos tradicionales.

Vamos a considerar dos tipos de juntas:

JUNTAS TRANSVERSALES

Son perpendiculares al eje de la vía y pueden considerarse tres categorías:

Juntas de contracción/flexión.- su función es reducir las sollicitaciones debidas a la contracción y a los cambios de temperatura y así minimizar la fisuración.

Juntas de contracción/flexión con barras de transferencia.- las barras tienen por función mejorar la transmisión de cargas en las juntas.

Las barras de acero lisas entre $\frac{3}{4}$ " y 1" se instalan al centro de la losa en el sentido longitudinal, espaciadas cada 75 cm.

Juntas de construcción .- estas juntas deberán realizarse cada vez que se deje vaciar concreto, la losa se corta a 90° y se debe usar barras de conexión de la misma forma que en el caso anterior.

Juntas longitudinales.- son juntas paralelas al eje de la pista y sirven principalmente para compensar los esfuerzos de construcción y cambios de temperatura.

3.4. METODOLOGÍA DEL DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE ARENA

El dimensionamiento de las carreteras de concreto de arena se realiza según especificaciones adecuadas y en cuatro etapas:

Selección de tráfico

Evaluación de la capacidad portante de la plataforma

Definición de la resistencia del concreto de arena

Dimensionamiento propiamente dicho.

Selección de tráfico:

En cuanto a la selección de tráfico se debería trabajar en base a cantidad e vehículos estándar.

Evaluación de la capacidad portante:

Para dimensionar directamente la estructura de una carretera es necesario evaluar la capacidad portante de la plataforma de base, aumentando la del suelo nivelado y de refuerzo o un tratamiento in-situ del suelo. Anteriormente se ha definido los tres tipos de suelo que se considera encontrar.

Definición de la resistencia del concreto de arena:

En general los concretos de arena por carpeta de rodadura y la base deben responder tanto a las sollicitaciones de tráfico como a los efectos del clima.

Las resistencias a considerar son las resistencias a la compresión y a la resistencia a la tracción por compresión diametral o por flexión.

Estos concretos deben ser los mas homogéneos y compactos como sea posible. Los datos aproximados para las resistencias de tracción por compresión diametral y tracción por flexión son:

TABLA 3.1

RESISTENCIA A TRACCION

	CARPETA DE RODADURA	CONCRETO POBRE SOLADO - BASE
RESISTENCIA A LA TRACCION POR FLEXION, 28 DIAS	4.5 Mpa	2.8 MPa
RESISTENCIA A LA TRACCION POR CONPRESION DIAMETRAL, 28 DIAS	2.7 Mpa	1.7 Mpa

Dimensionamiento propiamente dicho:

El dimensionamiento se efectúa en base a ábacos en función del tráfico acumulado expresado en vehículos estándar de 13 t es necesario el desarrollar ábacos similares para el concreto de arena.

En caso que el tráfico acumulado sea mayor de 2.5×10^6 vehículos estándar al año es aconsejable usar barras de transferencia con el fin de mejorar el comportamiento de la estructura.

Con la utilización de barras de transferencia, pasadores, se puede permitir disminuciones de espesor de carpetas con respecto a las de los ábacos, así:

Estructuras con barras de transferencia, pasadores, sobre base drenante o geotextil – 3cm.

Estructuras con barras de transferencia, pasadores, con base de concreto de arena pobre de 15cm de espesor – 3cm.

Estructuras con barras de transferencia, pasadores, con base de concreto pobre de 19cm.de espesor – 5cm.

Es pertinente aclarar que para tráficos mayores de 4.5×10^6 vehículos estándar por año, no conviene el uso de carpetas de rodamiento de concretos de arena.

En general es apropiado el uso en estos pavimentos de una capa delgada de protección, a base de cemento o materiales bituminosos.

3.5. PROSESO CONSTRUCTIVO EN CONCRETO DE ARENA

El hormigón o también llamado concreto es una masa heterogénea constituida básicamente por agregado cemento, agua , aire y algunas veces aditivos que una vez endurecidos tienen la característica de esfuerzos mecánicos en especial los de compresión .

El cemento Pórtland es el pegante o ligante hidráulico es decir , el material en determinadas condiciones es capaz de endurecer en el transcurso del tiempo uniendo los materiales heterogéneamente. En particular el cemento Pórtland se endurece al ponerlo al contacto con el agua (proceso de hidratación) lo que da lugar una acción inicial de fraguado , que a su termino convierte la masa plástica del concreto fresco en una masa endurecida e indeformable.

Luego de que el concreto a fraguado continua un largo periodo de endurecimiento por lo alcanza la resistencia mecánica prevista.

El proceso de endurecimiento es indefinido pero se considera que a los 28 días se obtiene la resistencia de trabajo por lo cual se expresa en kg/cm^2 o libra /pulg².

A la mezcla de cemento ,agua y aire naturalmente atrapado ó introducido a propósito se la conoce como pasta de cemento y constituye el llamado MATRIZ .Así mismo a la mezcla de la pasta de cemento y arena se la llama MORTERO.

El aire atrapado es aquel que queda incluido inevitablemente dentro de la mezcla durante el proceso del mezclado y colocación del concreto dentro del encofrado. El aire introducido al propósito se refiere a las burbujas que les son introducidas a la mezcla por medio de un aditivo o un cemento especial con el fin proporcionarles características del concreto. Por su parte los aditivos son sustancias químicas que eventualmente son añadidas a la mezcla para modificar algunas de sus características.

Una de las principales características del hormigón es sin duda. Su resistencia al esfuerzo de compresión, esta resistencia comparada con su capacidad de absorber esfuerzos de tracción es realmente apreciable.

En el entendido de que toda la estructura de hormigón simple o reforzado esta diseñada para trabajar solicitaciones requeridas . Se constituye en principal prueba la medida de la calidad estructural del hormigón en su resistencia a la compresión . Los ensayos tienen lugar, vaciando a las probetas cilíndricas de 6x12”, cantidades de hormigón de diferente dosificación y de diferente contenido de agua para que transcurrido algunos lazos de tiempo especificados se sometan en las probetas en proceso la cantidad de fuerza necesaria para llegar al colapso del espécimen.

Dosificación

La dosificación de mezclas de hormigón, es la determinación de la combinación más económica y práctica de los agregados disponibles, cemento y agua, que producirá una mezcla con un endurecimiento adecuado.

El procedimiento más práctico es determinar la mezcla y hacer correcciones necesarias en obra. La dosificación de la mezcla de prueba, puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.

Cuando la obra es de magnitud, es más necesario y exigente los ensayos de laboratorio. Las determinaciones mínimas de laboratorio que permitirán el proporcionamiento eficiente de las mezclas de prueba son granulometría, peso específico, absorción y humedad de los agregados

3.5.1. MATERIALES

3.5.1.1.CEMENTOS.

Definiciones generales:

Son conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto al aire como bajo al agua, a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua.

Los cementos son materiales granulares muy finos y homogéneos, cuyo aceptable grado de uniformidad de propiedades y de comportamientos, solo se puede conseguir mediante procesos continuos de fabricación (selección, dosificación, molturación, homogeneización de materias primas y de productos intermedios y clinkerización de crudos), así como de realizaciones periódicas y frecuentes de control de la calidad, todo ello llevado a cabo mediante operaciones de auto control de los fabricantes, efectuadas por personal cualificado y adiestrado y con maquinaria, equipos e instrumentos idóneos.

Conglomerantes hidráulicos.-

Son productos artificiales, de naturaleza inorgánica y mineral, obtenidos a partir de materias primas naturales y, en su caso, de subproductos industriales, que se utilizan en construcción, edificación y obras públicas, así como en industrias afines de materiales de construcción.

Se emplean para producir conglomerados (hormigones, morteros y pastas) con áridos pétreos, naturales o artificiales u otro tipo de áridos (cascote de ladrillo), a fin de obtener elementos constructivos estructurales, estructuras y obras resistentes, estables y duraderas.

Constituyentes del cemento:

Clinker Pórtland.- Es el producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio, obtenido por la cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de una mezcla

convenientemente proporcionada y homogeneizada que contiene principalmente cal y sílice, con pequeñas proporciones de alúmina y óxido férrico.

Materiales puzolánicos.- Son materias naturales o productos artificiales capaces de combinarse con cal grasa, hidráulica o de hidrólisis de los cementos (Pórtland hita), a la temperatura ambiente y en presencia de agua, para formar compuestos hidráulicos semejantes a los originados en la hidratación de los constituyentes del clinker Pórtland.

Puzolanas naturales.- Son rocas tobáceas, volcánicas vítreas, de naturaleza traquítica alcalina o pumítica.

También son puzolanas naturales las harinas fósiles de naturaleza silícica, como la diatomita.

Puzolanas artificiales.- Son productos obtenidos por medio de tratamientos térmicos de arcillas, pizarras y otros similares. Dentro de este grupo también se encuentran subproductos de algunas industrias tales como polvo de ladrillo, cenizas volantes, etc.

Filleres calizos.- Son materiales de naturaleza inorgánica y origen mineral carbonatado, compuestos principalmente por carbonato cálcico en forma de calcita, que molidos conjuntamente con clinker de cemento Pórtland, en proporciones determinadas, afectan favorablemente a las propiedades y al comportamiento de los conglomerados de cemento, frescos y endurecidos, por acciones de tipo físico (en cuanto a dispersión, hidratación, trabajabilidad, retención de agua, capilaridad, permeabilidad, retracción, fisuración, etc.) y acciones de carácter químico.

Reguladores de fraguado.- Son materiales naturales o productos artificiales que, añadidos a los clinker Pórtland y a los otros constituyentes eventuales de los cementos, en proporciones adecuadas y molidos conjuntamente con ellos, proporcionan cementos de los contenidos en la tabla 1, que fraguan de acuerdo a lo especificado en esta norma al aplicarles el método de ensayo de la norma NB 063-95.

El regulador de fraguado más usual es el sulfato cálcico en algunas de sus variedades (como el yeso) o mezclas de ellas.

El sulfato cálcico en cualquiera de sus formas puede ser también un subproducto de determinados procesos industriales y ser utilizados como regulador de fraguado (las impurezas que pudieran acompañar a este subproducto no deberán afectar desfavorablemente en los procesos de fraguado y endurecimiento ni a las propiedades y comportamiento de los conglomerados frescos o endurecidos.

Aditivos.- Son productos que, en pequeñas dosis –inferiores en todo caso al 1% en masa- se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento (coadyuvantes de la molienda del clinker) o para aportar al cemento o a sus derivados – morteros y hormigones- algún comportamiento específico (inclusores de aire).

En ningún caso perjudicarán las propiedades y el comportamiento de los conglomerados frescos o endurecidos. Tampoco provocarán acelerarán o facilitarán la corrosión de las armaduras.

CLASES DE CEMENTOS:

Cementos Pórtland:

Son los fabricados sobre la base de clinker Pórtland, es el más empleado dentro de la construcción y consiste en mezclas de:

Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$).

Aluminato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$).

Silicato di cálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$).

Magnesio y hierro en pequeñas proporciones.

Para retardar el proceso de endurecimiento suele añadirse yeso.

Los compuestos activos del cemento son inestables, y en presencia de agua reorganizan su estructura. El endurecimiento inicial del cemento se produce por la hidratación del silicato tricálcico, el cual forma una sílice hidratada gelatinosa e hidróxido de calcio. Estas sustancias cristalizan, uniendo las partículas de arena o piedras -siempre presentes en las mezclas de argamasa de cemento- para crear una masa dura.

El aluminato tricálcico actúa del mismo modo en la primera fase, pero no contribuye al endurecimiento final de la mezcla. La hidratación del silicato di cálcico actúa de modo semejante, pero mucho más lentamente, endureciendo poco a poco durante varios años. El proceso de hidratación y asentamiento de la mezcla de cemento se conoce como curado, y durante el mismo se desprende calor.

Existen diversos cementos Pórtland, según pequeñas diferencias en su composición, lo cual les confiere características diferentes, estos se clasifican en:

Clasificación de los cementos Pórtland:

Cementos Pórtland, tipo I.- Son los conglomerados hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor del 95% en masa y de cualquiera de los componentes adicionales definidos en la Norma Boliviana de Cemento, o mezclas de ellos en proporción no mayor del 5% en masa. En este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que deberá añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Cementos Pórtland con puzolana, tipo IP.- Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Portland en proporción no menor del 70% ni mayor del 94 % en masa, de puzolana natural en proporción no menor del 6% ni mayor del 30% en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en la Norma Boliviana en proporción comprendida entre el 0% y el 5% en masa. En este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Cementos Pórtland con filler calizo, tipo IF.- Son los conglomerante hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor del 80% ni mayor del 94%

en masa, filler calizo en proporción no menor del 6% ni mayor del 15% en masa, y de otros de los componente naturales definidos en la Norma Boliviana de Cemento, en proporción comprendida entre el 0% y el 5% en masa. En este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Cementos especiales:

Mediante la variación del porcentaje de sus componentes habituales o la adición de otros nuevos, el cemento Pórtland puede adquirir diversas características de acuerdo a cada uso, como el endurecimiento rápido y resistencia a los álcalis. Algunos ejemplos de cementos especiales son:

Cementos de fraguado rápido.- Los cementos de fraguado rápido, a veces llamados cementos de dureza extra rápida, se consiguen aumentando la proporción de silicato tricálcico o mediante una trituración fina de modo que el 99,5% logre pasar un filtro de 16.370 aberturas por centímetro cuadrado. Algunos de estos cementos se endurecen en un día al mismo nivel que los cementos ordinarios lo hacen en un mes. Sin embargo, durante la hidratación producen mucho calor y por ello no son apropiados para grandes estructuras en las que ese nivel de calor puede provocar la formación de grietas.

Cementos de bajo calor de hidratación.- En los grandes vertidos suelen emplearse cementos especiales de poco nivel de calor, que por lo general contienen mayor cantidad de silicato di cálcico.

Estos cementos producen el calor de hidratación es de 65 cal/gr a los siete días, y 75 cal/gr a los 28 días.

Cemento con contenido bajo de aluminio.- Suelen emplearse en obras de hormigón expuestas a agentes alcalinos, puesto que atacan al hormigón fabricado con cemento Pórtland común.

En estructuras construidas bajo el agua del mar suelen utilizarse cementos con un contenido de hasta un 5% de óxido de hierro, y cuando se precise resistencia a la acción de aguas ricas en sulfatos se emplean cementos con una composición de hasta 40% de óxido de aluminio.

Características de los cementos:

Los cementos tienen varias características que los diferencian entre sí, las principales de estas características son la finura, el peso específico, la velocidad de fraguado y la expansión. Cada uno de estos puntos los analizaremos resumidamente, profundizando el concepto de finura, que es al que nos dedicaremos en la práctica:

Peso específico.-

El peso específico de los cementos varía según el tipo de cemento y su composición entre 3 y 3,15 g/cm³. Algunas normas establecen que el peso específico sea igual o superior a 3, lo que generalmente se cumple.

Velocidad de Fraguado.-

La velocidad de fraguado de un cemento es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento.

Este proceso viene limitado por las normas estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual deben producirse el principio y el fin de fraguado.

Una prueba sobre la velocidad de fraguado consiste en realizar penetraciones de la aguja de Vicat sobre una probeta de pasta normal de cemento. La temperatura tiene gran importancia dentro del fraguado, es decir que existe una temperatura normalizada del ensayo que es de 19° a 23 ° C para el agua de amasado.

La velocidad del fraguado es tanto más corta y rápida en su comienzo cuanto más elevada es la finura del cemento; cuando es menor cantidad de agua de amasado y cuando es más seco el ambiente. Por el contrario, la meteorización de este (almacenamiento prolongado) aumenta la duración del fraguado.

Expansión.-

Existen 2 métodos para medir la expansión: La expansión puede medirse con el método del autoclave, normalmente empleado en USA, o por el método de las agujas de Le Chatelier, de origen francés.

Autoclave.- Empleado por lo general en los Estados Unidos, es un ensayo acelerado que, al combinar presión con temperatura, pone de manifiesto a corto plazo el carácter más o menos expansivo que tendrá un cemento a largo plazo debido a la existencia de magnesia o de cal libre en exceso.

Le Chatelier.- Desarrollado en Francia, y empleado generalmente en Europa, mediante el cual se efectúan mediciones de expansión en frío y en caliente, pero sin que actúe la presión. No es tan preciso como el método de autoclave.

Finura de molido.-

La finura como su nombre lo indica, es el tamaño de las partículas de cemento, que se define en el proceso industrial de la molienda de los componentes del cemento. En este proceso interviene un factores técnico que debe analizarse, el grado de finura, puesto que según este grado se clasifican los cementos en tres tipos.

En el proceso de la molienda de cemento Pórtland simple, como prácticamente se muele solamente clinker, se produce una fragmentación gradual, que se manifiesta en una curva de granulometría continua, prolongando el proceso de la molienda simplemente para lograr la finura requerida. Es por esta homogeneidad del material que al comparar dos cementos Pórtland de distinta procedencia pero del mismo tipo, se observa que los requerimientos de agua al elaborar el concreto es mínima. Esto no ocurre cuando se trata de cementos Pórtland puzolánico, debido a que se muelen conjuntamente el clinker y la puzolana, que tienen distinto grado de uniformidad y dureza, aparte de esto la existencia de una gran variedad de puzolanas evidencia aún más este hecho, especialmente al comparar cementos de distinta procedencia.

Los efectos que derivan de la finura son muchos, debiendo escogerse el que mejor se adapte a las condiciones de la obra a realizar. Al aumentar ó disminuir la finura un cemento adquiere las siguientes características:

- Al aumentar la finura, se hidrata, lo que ocasiona que el cemento adquiera resistencia con mayor rapidez cuando es más fino.
- Con el aumento de la finura, las partículas al ser más diminutas, se mantienen en suspensión con mayor facilidad en una pasta recién mezclada, lo que produce una mayor cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto.
- Un cemento con granos muy gruesos, produce mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos del concreto y posible agrietamiento en las estructuras.

Basados en estas propiedades de la finura, a los cementos debe dárseles una finura adecuada para que cumplan con las normas de superficie específica y resistencia a la compresión.

Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo, es decir, que no los considera índices decisivos para juzgar la calidad del cemento Portland puzolánico.

La finura de un cemento se mide por sus residuos en dos tamices tipo, de 900 y 4900 mallas por cm^2 , respectivamente; ó bien determinando su superficie específica por algún procedimiento, siendo el blaine el empleado con preferencia. Lo principal es que el alcance sus debidas resistencias, a las distintas edades, es por esta razón que la calidad del clinker es de mucha mayor importancia que el de la finura del cemento.

3.5.1.2.LA ARENA.-

Definición.-

Se denomina arenas al conjunto de partículas o granos de rocas, reducidos por fenómenos mecánicos o químicos, acumulados o en sitio que se forman en sitios por descomposición, o al conjunto de piedra producidas por acción mecánica artificial. Las primeras son las arenas naturales y las segundas son arenas artificiales.

Es el producto de la desgregación natural de las rocas, por procesos mecánicos o químicos y que arrastradas por las aguas, se acumulan en lugares llamados arenales y playas. Están formados por un conjunto incoherente de granos de diversa forma o composición química y tamaño menor de 5 mm y mayor de 0,02 mm.

Artificialmente se obtienen por machaqueo y molienda de las rocas duras.

Arena, es una masa desagregada e incoherente de materias minerales en estado granular fino, que consta normalmente de cuarzo (sílice) con una pequeña proporción de mica, feldespato, magnetita y otros minerales resistentes, Es el producto de la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión. Cuando las partículas acaban de formarse suelen ser angulosos y puntiagudas, naciéndose más pequeñas y redondeadas por la fricción provocada por viento y el agua.

La arena es un constituyente importante de muchos suelos y es muy abundante como depósito superficial a lo largo de los cursos de muchos ríos, en las orillas de lagos, en las costas y en las regiones áridas. Un tipo de arena es el ingrediente principal en la fabricación de vidrio. Otras clases se utilizan en fundición para hacer moldes o para fabricar cerámicos, yesos y cementos. La arena se usa como abrasivo moledor y pulidor bajo la forma de papel de lija, hoja de papel con una, de sus caras cubierta de arena o de una sustancia abrasiva similar. La utilización de chorros de arena impulsados por aire o vapor a presión, es una técnica importante en la limpieza de la piedra o en el pulido de superficies metálicas o rugosas.

Agregado Fino

Es el agregado de mayor responsabilidad; a diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad.

La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla.

Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón, previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acusen un principio de descomposición.

Deben rechazarse de forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos).

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las silíceas.

Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo, en pavimentos) deben confeccionarse con arena silícea, al menos en un 30 % de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones, sobre todo cuando se dosifica en volumen. Por ello es siempre necesario tenerla en cuenta.

Respecto a los agregados finos, para el caso de pavimentos, se puede exigir las siguientes características:

Tabla 3.2

CARACTERÍSTICAS FÍSICO –QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS FINOS

Modulo de finura	> 2,3 y < 3,10
Peso Unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr./cm ³
Absorción de agua 24 horas (la perdida)	no excederá del 5% en peso
No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes limites	
Carbón y lignito	0,5 % en peso
Terrones de arcilla	3,0 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200, vía húmeda	3,0 % en peso
Otra sustancias como alcalis,sales,mica,granoa con películas	1 % en peso

superficiales, partículas blandas, etc.	
---	--

Fuente: Anual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-PavementSystem

La distribución por tamaño de las partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. En la tabla que a continuación presentamos, se muestran las mallas utilizadas en el cribado del agregado fino.

TABLA 3.3

**SERIE DE MALLAS ESTÁNDAR Y LÍMITES DE TOLERANCIA PARA LA
ARENA**

Tamiz Malla cuadrada ASTM	Porcentaje en Peso que pasa Según el tamaño máximo
3/8"	100
Nº 4	95 – 100
Nº 8	85 – 100
Nº 16	45 – 80
Nº 30	23 – 60
Nº 50	10 – 30
Nº 100	2 – 10

Fuente: Anual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-PavementSystem

Tamaño de los granos .-

Según la clasificación de FERET, se llaman arenas gruesas cuando sus granos pasan por un tamiz de 5 mm de diámetro y sean retenidas por otro de 2 mm; medios, si pasan por el de 2 y son retenidas por el de 0,5 mm, y finas, las que pasan por el tamiz de 0,5 mm de diámetro.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, teniendo el inconveniente las primeras de necesitar mucha pasta de aglomerante para rellenar sus huecos y ser adherentes, y las segundas, el precisar el mortero mucha agua para ser plásticas, resultando poroso, y se adhiere mal a las piedras.

Composición granulométricas .-

Es la proporción en que se encuentran los granos de distinto tamaño, expresándose en por ciento. Se ha comprobado que tiene una gran influencia sobre la calidad de los morteros y hormigones, sobre la comodidad, impermeabilidad y resistencias mecánicas.

Mezclando arenas de granos con diversos tamaños se obtiene una arena con el mínimo de huecos, que necesitará menos cantidad de aglomerante y el mortero será más barato y compacto.

FERET llama G, M. y F a los granos gruesos, medios y finos, y la composición granulométrica de una arena la representan las proporciones relativas de G, M y F, expresadas en volumen o en peso; así una arena que tuviese el 50 por 100 de granos gruesos y 20 por 100 de finos, tendría la siguiente composición granulométrica:

$$G = 0.50; \quad M=0,30; \quad F = 0,20.$$

Hace una representación gráfica por medio de diagramas triangulares, a cuyos vértices llama G. M. y F

La composición granulométrica de una arena se mide por un simple punto del triángulo y la proporción de cada grueso la expresa la distancia perpendicular del punto a cada uno de los lados del triángulo. Los tres vértices de la figura corresponden a $G = 0$; $M=0$; $F = 0$

Una arena representada por el punto A tendría la composición $G=0,48$; $M = 0,35$; $F = 0,17$.
La representada

por el punto B sería $G=0,33$ y $M:0,67$, sin arena fina.

Se pueden representar por el mismo procedimiento las propiedades especiales de una arena, como el peso, volumen, huecos, etc., uniendo por una línea curva las distintas composiciones granulométricas que dan el mismo tanto por ciento de peso, volumen, etc. Así, una arena cuya composición granulométrica que esté marcada por la curva 0,575, significa que si se mide la mezcla tendría de materia sólida, y por diferencia, 42,5 por % de huecos.

Otra manera de expresar la composición granulométrica es por el módulo de finura y curvas límites, que estudiaremos en los hormigones.

Forma de los granos .-

Pueden ser esféricos, elipsoidales, poliédricos, laminares y aguja. Influye mucho en las resistencias de los morteros. Las arenas de superficie áspera y angulosa se adhieren mejor, dejan más huecos y dan más resistencias que las lisas y redondeadas, necesitando más agua las primeras que las segundas para una determinada consistencia. Las de forma de agujas o lajas deberán ser rechazadas, por acuñarse fácilmente y dejar muchos huecos.

Peso de las arenas.-

La densidad aparente de una arena varía poco con su calidad; oscila de 1,2 a 1,7 y promedio 1,4.

El peso específico o densidad real varía entre 2,5 y 2,7.

Las arenas húmedas, en igualdad de volumen aparente, pesan menos que las secas, debido a que se recubren de una película de agua y las hace ocupar mayor volumen, el 20 por 100, con un 6 por % de agua, y, por consiguiente dejan mayor espacio de huecos.

El volumen de huecos de una arena natural oscila entre el 26 por % de mínimo para las arenas de granos iguales, y el 55 por % para las de granos finos.

Con granos esféricos gruesos iguales, apilados según un cuadrado, es decir, que cada esfera sea tocada por otras seis (fig. 94. a). Tiene un 47,6 por 100 de huecos. Si se apilan según un tetraedro, es decir, tocado por 12 esferas (fig. 94, b), da un 26 por 100 de huecos. Si en esta posición se colocan granos finos (fig.94, e) tendremos una arena muy compacta que tendrá aproximadamente 3/4 de granos gruesos y 1/4 de finos, obteniéndose una compactación del 93 por %teóricamente, pues en la práctica no se alcanza más que del 50 al 70 por 100. y en los huecos de la arena es donde deberá alojarse el aglomerante.

Las arenas que contienen el mínimo de huecos, en la práctica son las que tienen 2/3 de granos gruesos y 1/3 de granos finos, careciendo de granos medios.

Se determina el volumen de huecos llenando un recipiente con arena sin comprimir y midiendo la cantidad de agua necesaria para colmar dicho recipiente. Con más exactitud se hace hallando su peso específico con un volumétrico o simplemente con una probeta graduada en la que se vierte agua hasta una señal, vertiendo después con cuidado un peso dado en arena y viendo el volumen desplazado. Dividiendo el peso por el volumen, tenemos el peso específico. Conocida la densidad aparente y el peso específico, su cociente es la compactación. Los huecos es la diferencia entre la unidad y la compactación, expresada en tanto por ciento

$$C = d_a * 100 \gg H = 1 - C$$

3.5.1.3.AGUA

El agua es un elemento fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido; por lo que debe tenerse muy en cuenta la calidad de la misma. A continuación citaremos algunos requisitos que debe cumplir el agua

El agua a emplearse en la preparación del concreto y en el curado de probetas, deberá ser limpia o preferiblemente potable y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

Con el fin de garantizar la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, es necesario regirse a los siguientes valores máximos admisibles (tabla 1.7), los mismos que son normalizados internacionalmente.

Tabla 3.4

SUSTANCIAS DISUELTAS ADMISIBLES EN EL AGUA

Parámetro	Método	Unidad	Limites Permitidos	Referencia Limite
Cloruros	SM 4500-CI-B	g/l	≤ 6	NB 637-94
Aceites y grasas	SM 5520-B	g/l	≤ 15	NB 637-94
pH (22,5 °C)	SM 4500-H-B		> 5	NB 637-94
Sólidos Suspend.Total	SM 2540-B-C	g/l	1,5	PETROBR AS
Subs. Disueltas Total	SM-2540-C	g/l	≤ 15	NB 637-94
Dureza	SM 2340-C	mgCaCO3/l		
Magnesio	SM 3500-Mg-E	g/l	0,15	PETROBR AS
Nitrógeno total	SM 4500-Norg-B	g/l		
DQO	8000-HACH	g/l		

Sulfatos	SM 4500-SO4-E	g/l	≤ 1	CBH-87
----------	---------------	-----	-----	--------

Fuente: Norma Boliviana

3.5.1.4. ADITIVOS

De forma general, se puede decir que los aditivos son sustancias químicas o minerales que se utilizan para modificar o mejorar una o mas características del concreto en estado plástico o endurecido, influyendo además en su calidad y costo.

En pavimentos rígidos se emplean más frecuentemente dos tipos de aditivos: los inclusotes de aire y los reductores de agua. Sin embargo, algunas aplicaciones especiales demandan características específicas del concreto hidráulico, por lo que en ocasiones se pueden emplear superfluidificantes, retardantes, incluso acelerantes de fraguado y para climas bastante fríos se suele emplear inclusores de aire.

El almacenamiento de aditivo requiere el cuidado de varios aspectos: no se debe dejar contaminar ni sufrir daño, los depósitos de aditivo nunca se deben exponer a frío ni calor excesivo y los aditivos nunca deben congelarse. Es importante realizar ensayos de control de calidad a estos productos químicos para asegurar una correcta aplicabilidad.

4.5.2. DOSIFICACIÓN:

La dosificación del hormigón como su nombre lo indica, se refiere a encontrar las cantidades apropiadas de cada uno de los elementos que los constituyen (arena, grava, agua y cemento), de manera que se obtenga una resistencia deseada al cabo de 28 días.

Al dosificar un hormigón deben tenerse en cuenta tres factores fundamentales: la resistencia, la consistencia y el tamaño máximo del árido, que son los datos a partir de los cuales hay que determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos disponibles para obtener el hormigón deseado al más bajo costo posible.

En la actualidad en el mundo existen muchos métodos analíticos, así como prácticos para la determinación de la composición de las mezclas de hormigón.

El hecho de que gran número se haya ocupado de este tipo de investigaciones sobre la problemática cada vez más importante dentro de la construcción, esforzándose para expresar nuevas formas, las relaciones básicas que sirven para determinar la influencia que ejercen los distintos componentes del hormigón y sus características físico-mecánicas, nos demuestra que no se ha logrado todavía obtener una solución definitiva de la problemática de la dosificación de mezclas y que tampoco se ha logrado crear tales relaciones para su posible generalización, al efecto de servir en forma adecuada la técnica de construcción con todas las condiciones específicas.

Asimismo una serie de métodos apoyados en experiencia, obtenidos por muchos años se basan en una considerable cantidad de ensayos de laboratorio, carecen, no obstante, de los datos precisos sobre las condiciones locales (bajo las cuales se desarrollan los trabajos), no permite analizar y establecer una generalización de la aplicación de sus cálculos.

Otro inconveniente de la mayoría de las ecuaciones o tablas para el cálculo de las mezclas de hormigón empleados actualmente, consiste en que no tiene las influencias de la consistencia de la mezcla, cuando esta es de gran importancia.

Si se utilizan las características de los materiales de diversas regiones de nuestro país, usando para la producción del hormigón, la mayor diferencia de requerimientos tecnológicos, lo manifiesta el árido en cuanto a lo desfavorable de su forma.

No muchos autores hasta el presente, se han dedicado al estudio de la problemática de los áridos; de las conclusiones de estos trabajos resalta que no hay una coincidencia común, por ejemplo Feret y Kaplan atribuyen a la forma de la grava (áridos o gruesos) una singular importancia.

A este se oponen los criterios de Gualbres, Prudely, Gordon y otros quienes no le confieren absolutamente ninguna importancia, o solo en una medida insignificante.

La diversidad de opiniones de los distintos autores, es posible explicarla por las razones secundarias que no siempre se lograron eliminar por diferentes criterios respecto a lo inconveniente o conveniente de la grava.

Las condiciones locales se pueden generalizar o aplicar también por el enfoque peculiar hacia la problemática al formular las condiciones con los métodos de diseño.

La consistencia del hormigón es una propiedad importante, de este estado dependen los factores que influyen en el endurecimiento del hormigón o fraguado del mismo.

Adquirió verdadera importancia cuando la vieja práctica de elaborar mezclas fluidas, entonces llegó a ser apremiante la consistencia del hormigón.

La consistencia del hormigón fresco depende del sistema constructivo que se aplique, de las dimensiones de las secciones estructurales, las cantidades de acero y el método que se utiliza para la puesta en obra a dicho hormigón, de acuerdo con los factores antes citados se podrá definir el método de compactación más conveniente.

Relaciones Básicas:

Las proporciones del concreto deben dosificarse con el fin de proporcionar los siguientes aspectos fundamentales como ser:

a) Trabajabilidad.- Consiste en aquella propiedad del concreto mediante la cuál se determina la capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser determinada sin segregación dañina alguna.

b) Consistencia.- Es definida como la humedad existente en la mezcla de concreto de revenimiento o asentamiento que adquiere la mezcla fresca, se mide en unidades de longitud (cm).

A mayor asentamiento mayor fluidez de la mezcla y afecta la facilidad con que fluirá, pero sin embargo baja la resistencia del concreto, está relacionada con el concepto de trabajabilidad.

La necesidad de agua aumenta a mayor superficie específica de los agregados (angulares).

c) Resistencia.- Es una característica que se podría decir que es la más importante de los concretos, ya que son diseñados para resistir esfuerzos de compresión, sin embargo otras propiedades como la durabilidad, permeabilidad, desgaste, son de gran importancia.

Para un conjunto de materiales y de condiciones distintas, la resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua y por la cantidad unitaria de cemento (relación agua cemento).

Las diferencias en la resistencia para una relación agua cemento puede variar según el tamaño máximo utilizado en la composición de los concretos, la granulometría de los áridos gruesos, la textura superficial de los agregados, la forma, la resistencia, la rigidez de las partículas del agregado.

d) Durabilidad.- El concreto debe ser capaz de soportar aquellas exposiciones en las condiciones de la atmósfera pueden desligarlos de su resistencia o capacidad de servicio.

4.5.3. MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN:

4.5.3.1. Método AASHTO:

Paso #1: Relación agua cemento:

La máxima razón de agua cemento se escoge para las distintos tipos de construcciones y condiciones de exposición.

La razón agua cemento requerida para una resistencia a la compresión deseada puede tomarse directamente de tabla # 6 y de los valores obtenidos de la relaciones agua cemento se escoge siempre el menor.

Tabla3.5**RELACIONES AGUA CEMENTO PARA DIFERENTE RESISTENCIAS**

Relación agua cemento en peso	Litros de agua por saco de cemento	Resistencia a los 28 días [kg/cm ²]
0.44	18.9	352
0.49	20.8	316
0.53	22.7	281
0.56	24.6	253
0.62	26.5	232
0.67	28.4	210
0.71	30.3	197

Paso #2: Elección del asentamiento límite:

Se aconseja usar el asentamiento mínimo compatible con un vaciado adecuado el cuadro #7 proporciona los límites recomendables para varios tipos de construcción, los valores obtenidos de este cuadro deben reducirse en un tercio cuando se usan vibradores de gran frecuencia.

Tabla3.6**ASENTAMIENTOS RECOMENDABLES PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN**

Tipos de construcción	Asentamiento [pulg]	
	Máximo	Mínimo
Muros y zapatas de fundación reforzados	5	2
Zapatas simples	4	1
Lozas, vigas y marcos reforzados	6	3
Columnas de edificios	6	3
Pavimentos	3	2
Construcción de gran volumen	3	1

Paso # 3: Determinación del porcentaje de arena:

El porcentaje óptimo de arena para una mezcla de hormigón es la cantidad que dará como resultado el menor contenido de agua unitario y también proporcionara el grado de trabajabilidad necesario.

En el cuadro # 3 nos proporciona los valores de porcentaje de arena de acuerdo del tamaño máximo y el tipo de agregado (rodado y machacado). Este cuadro está confeccionado para condiciones ideales de agua cemento de 0.57 en peso, 3 pulgadas de asentamiento y arena natural con un modulo de fineza 2.57. Para otras condiciones se deberán realizar correcciones en base a la tabla # 4, en la cual el signo positivo nos indica un aumento y el

signo negativo nos indica una disminución correspondiente a las condiciones establecidas a la primera columna.

Tabla 3.7

CONTENIDOS DE ARENA Y AGUA POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN.

Tamaño máximo de los agregados	Agregado redondeado grueso		Agregado anguloso grueso	
	% de arena sobre agregado total en volumen absoluto	Contenido neto de agua por m ³ en kilos	% de arena sobre agregado total en volumen absoluto	Contenido neto de agua por m ³ en litros o kilos
1/2"	51	198	56	213
3/4"	46	183	51	198
1"	41	178	46	192
1 1/2"	37	166	42	180
2"	34	157	39	172
3"	31	147	36	163
6"	26	130	31	145

Tabla 3.8

CORRECCIONES PARA OTRAS CONDICIONES

Cambios de las condiciones del cuadro anterior	Efecto en los valores cuadro anterior	
	Por ciento de arena	Contenido unitario de agua
Por cada 0.05 de aumento o disminución relación agua/cemento	±1	0
Por cada 0.1 de aumento o disminución en el módulo de fineza de la arena	±0.5	0
Por cada pulgada de aumento o disminución en el asentamiento	-	±3 %
Arena manufacturada (angulosa)	±2 a 3	+4.5 a 6.8 [kg]
Para hormigón menos trabajable en pavimentos	-3	-3.6 [kg]

Paso # 5: Contenido de agua:

Para una serie de materiales y relación de agua cemento determinado, el contenido de agua unitario (cantidad de agua por metro cúbico), es el factor básico más importante que afecta las cualidades del hormigón. El cuadro # 9 nos proporciona también la cantidad de agua unitaria que fueron deducidos en una serie de datos, experiencia e información.

Paso # 6: Cálculo de la mezcla de prueba:

En este paso se debe determinar las proporciones de materiales que conforman la mezcla, es decir las proporciones de cemento, agua y agregados que deben emplearse para preparar

un hormigón con la cantidad de agua máxima. Comprobando el asentamiento en cada vaciado, esto se hace por medio del cono de Abrams. En caso de que no cumpla el asentamiento permisible se debe redosificar.

Paso # 7: Corrección por condición de materiales:

Se corrige la dosificación en caso de que los materiales tengan humedad en exceso o en defecto. Obteniendo un factor de corrección que es igual a la diferencia de la humedad natural del material y el porcentaje de absorción. Esta diferencia se le resta o suma a la cantidad de agua obtenida en la dosificación.

3.5.3.2. Método ACI.

Paso #1: Elección del revenimiento:

Si es que no esta especificado, se puede elegir un valor apropiado para la obra, de acuerdo a tablas. Estos son aplicables cuando se usa la vibración para compactar el concreto. Deben usarse mezclas de consistencia muy rígida, que puedan colocarse eficientemente.

Paso #2: Elección del tamaño máximo del agregado:

Los agregados bien graduados de tamaño máximo tienen menos vacíos que los de tamaños menores. He aquí que los concretos con agregado de mayor tamaño requieran menos mortero por unidad de volumen de concreto. Bajo ninguna circunstancia el tamaño máximo debe exceder de una quinta parte de la menor dimensión entre los lados de las cimbras, de una tercera parte del peralte de las losas, ni de tres cuartas partes del espaciamiento mínimo libre entre las varillas individuales de refuerzo, haces de varilla o cables pretensados.

Paso #3: Estimación del agua de mezclado y del contenido de aire:

La cantidad de agua por volumen de concreto requerida para producir un revenimiento dado depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y de la granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido. Estas estimaciones están proporcionadas por tablas. Las diferencias en los requerimientos de agua no reflejan necesariamente en la resistencia, ya que existen otros factores compensatorios incluidos. También se incluye en tabla la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en un concreto sin aire incluido, y también están los niveles para concretos con inclusión de aire para efectos de durabilidad.

Paso #4: Elección de la relación “agua/cemento”:

Estos se determinan no solo por los requerimientos de resistencia sino por factores como la durabilidad y las propiedades del acabado. Ya que en diferentes agregados y cementos generalmente producen resistencias distintas con la misma relación agua cemento, es altamente recomendable conocer o desarrollar la correspondencia entre la resistencia y la relación agua cemento para los materiales a usarse. En ausencia de tal información se toman valores aproximados y relativamente conservadores para concreto, conteniendo Cemento Pórtland Tipo I que se indica en tablas.

Paso #5: Cálculo del contenido de cemento:

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene de las determinaciones efectuadas en los pasos 3 y 4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 3), dividido entre la relación “agua cemento” (paso 4). Si, no obstante la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.

Paso #6: Estimación del contenido de agregado fino:

Si el peso del volumen unitario de concreto se presupone o puede estimarse por experiencia, el peso requerido de agregado fino es simplemente la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. Por lo general, sobre la base de experiencias anteriores con materiales, se conoce el peso unitario del concreto con una precisión razonable. Si no se cuenta con esta información se puede utilizar datos tabulados.

CAPITULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

a) Características Generales del Departamento de Tarija

Límites Territoriales: Tarija es uno de los nueve departamentos autónomos en los que se divide [Bolivia](#), está situado en el sudeste del país. Limita al oeste con [Potosí](#), al norte con [Chuquisaca](#), al este con [Paraguay](#) y al sur con [Argentina](#).



Figura 4.1. División política de la República de Bolivia

Superficie: La superficie del departamento de Tarija, comprende una extensión territorial de 37.623 [km²](#), que aproximadamente representa el 3 % de la superficie del territorio nacional, es el departamento más pequeño de Bolivia.

Datos Demográficos: El departamento de Tarija el año 2001 contaba con un total de 450.276 habitantes y cuya tasa de crecimiento fue de 3.18%.

División Política: El departamento de Tarija está constituido por 6 provincias, 11 secciones municipales.

Provincia	Capital	km²	Población	Municipios
Aniceto Arce	Padcaya	5.205	56.413	Bermejo Padcaya
Burnet O'Connor	Entre Ríos	5.309	20.148	Entre Ríos
Cercado	Tarija	2.078	178.926	Tarija
Eustaquio Méndez	San Lorenzo	4.861	33.081	San Lorenzo El Puente Avilés Yunchará
Gran Chaco	Yacuiba	17.428	143.549	Caraparí Villamontes Yacuiba
José María Avilés	Uriondo	2.742	18.159	Valle de la Concepción

Tabla 4.1. División Política del departamento de Tarija

b) Características Físicas del Departamento de Tarija

Temperatura: La temperatura promedio del departamento de Tarija oscila entre los 17 °C a 23 °C en el valle y 25°C a 35°C en la región tropical.

Altitud: Tiene una altitud media sobre el nivel del mar de 1.957 m.

4.1.1. Zona de Estudio Municipio de Tarija

La zona del proyecto de análisis de pavimentos de concreto de arena aplicado en vías urbanas perifericas, se encuentra íntegramente en la primera sección del municipio de Tarija de la provincia Cercado del departamento de Tarija.

4.1.2. Características Generales del Municipio de Tarija

Límites Territoriales: El Municipio de Tarija está ubicada en el centro-oeste del departamento de Tarija, es la única sección municipal de la provincia Cercado. Limita al noroeste con Méndez, al este con Burnet O'Connor, al sur con Arce y al suroeste con Avilés.



Figura 4.2. División política del departamento de Tarija.

Fuente: Atlas Bolivia.

Ubicación Geográfica: Geográficamente el municipio de Tarija se encuentra ubicado entre las coordenadas 21° 31' 54" de Latitud Sur y 64° 43' 52" de Longitud Oeste.

Extensión Territorial: El municipio de Tarija, posee una extensión territorial de 2.078 km², que representa el 5.6 % de la superficie del territorio departamental y el 0,20 % del territorio Nacional.

Actividad Económica: La principal actividad económica del Municipio es la industria vitivinícola, se producen [vinos](#) y [singanis](#) de gran calidad para el consumo nacional y la exportación, tiene también plantas de procesamiento de derivados [lácteos](#), industrias madereras, fábricas de [cerámica](#) roja y envasadoras de frutas. La mayoría de estos productos tienen mercados dentro y fuera de Bolivia.

4.1.3. Características Físicas del Municipio de Tarija

Temperatura Media Anual: La temperatura media anual de Tarija es de 17.7 °C.

- Altitud: Se localiza a 1.854 [metros sobre el nivel del mar](#).

4.1.4. Características del Área de Influencia Directa

4.1.4.1. Barrio El Constructor

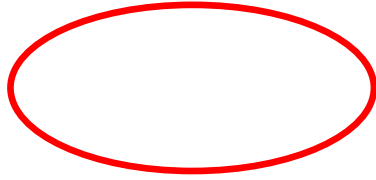




Figura 4.3. Ubicación del Barrio El Constructor

Fuente: Elaboración Propia.

El barrio constructor se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Tarija el área destinado al diseño de pavimento de concreto de arena, de este barrio ponemos en estudio una calle principal para el dimensionamiento de pavimento de concreto.

Las características del suelo de la subrasante se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, los mismos detallados en el anexo (ensayos de laboratorio) las características obtenidas son las siguientes:

Resultados de Laboratorio “Barrio El Constructor calle Salinas”

Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad		4.87	7,86	4.25
	LL (%)	27	26	16,4

Límites de Atterberg (%)	LP (%)	25	20	14
	IP (%)	2	8	3
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	ML (suelo Limoso)		
	A.A.S.T.H.O.	A-4		
Compactación	C.H.O. (%)	12	12	9
	D.max. (gr/cm ³)	1.86	2.14	1.91
CBR	100 %	14	14	10
	95 %	8	10	8

Tabla 4.2. Resultados de Laboratorio “Barrio El Constructor Calle Salinas”

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 31, se presenta el resumen del Estudio de Tráfico desarrollado para el presente trabajo, con sus tendencias de crecimiento, a objeto de que el diseño tenga un horizonte de 20 años.(anexo análisis de trafico)

TABLA 4.3.

CALCULO DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO PROYECTADO

		AÑOS	TPD	TPD PROYECTADO
	AFORO	2013	64	64
1	PUESTA EN SERVICIO	2015		71
2		2016		78
3		2017		86
4		2018		94
5		2019		104
6		2020		115
7		2021		126
8		2022		139
9		2023		153
10		2024		169
11		2025		186
12		2026		205
13		2027		226
14		2028		249
15		2029		275
16		2030		303

17		2031		334
18		2032		368
19		2033		405
20		2034		446

Fuente: Elaboración Propia

CALCULO DEL W18

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1+i)^n$$

$i = 10,2\%$
 $n = 20 \text{ años}$

$$W18 = 446 * 365 * (1 + 10,2/100)^{20}$$

$$W18 = 1136938 \text{ Kips}$$

4.1.4.2. Barrio Morros Blancos

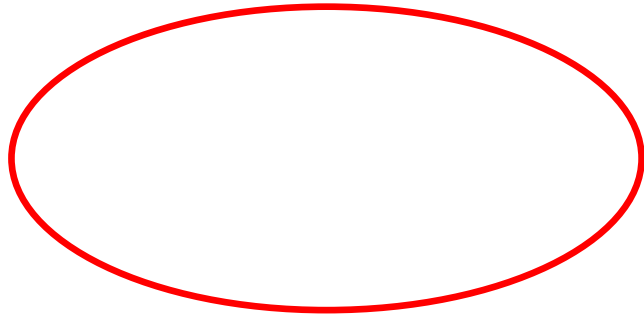




Figura 4.4. Ubicación del Barrio Morros Blancos

Fuente: Elaboración Propia.

El barrio Morros Blancos se encuentra ubicada al sur-este de la ciudad de Tarija el área destinado al diseño de pavimento de concreto de arena, de este barrio ponemos en estudio la calle Nivardo Aguirre Lema para el dimensionamiento de pavimento de concreto de arena.

Las características del suelo de la subrasante se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, los mismos detallados en el anexo (ensayos de laboratorio) las características obtenidas son las siguientes:

TABLA 4.4

**RESULTADOS DE LABORATORIO “BARRIO MORROS BLANCOS CALLE
NIVARDO AGUIRRE LEMA”**

Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad		4.34	6.34	5.01
Límites de Atterberg (%)	LL (%)	27	26	34
	LP (%)	23	23	22
	IP (%)	4	8	11
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	CL (arcillas inorgánicas de baja y media plasticidad)		
	A.A.S.T.H.O.	A-6		
Compactación	C.H.O. (%)	12.68	12.69	12.62
	D.max. (gr/cm ³)	1.84	1.84	1.90
CBR	100 %	12	10	11
	95 %	10	9	10

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla, se presenta el resumen del Estudio de Tráfico desarrollado para el presente trabajo, con sus tendencias de crecimiento, a objeto de que el diseño tenga un horizonte de 20 años.(anexo análisis de tráfico)

**TABLA
4.5**

**CALCULO DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO
PROYECTADO**

		AÑOS	TPD	TPD PROYECTADO
	AFORO	2013	75	75
1	PUESTA EN SERVICIO	2015		83
2		2016		91
3		2017		100
4		2018		111
5		2019		122
6		2020		134
7		2021		148
8		2022		163
9		2023		180
10		2024		198
11		2025		218
12		2026		241
13		2027		265
14		2028		292
15		2029		322
16		2030		355
17		2031		391
18		2032		431
19		2033		475
20		2034		523

Fuente: Elaboracion Propia

CALCULO DEL W18

$$W_{18} = \frac{TPD \times 365}{(1 + i)^n}$$

i = 10,2%
n = 20 años

$$W18 = 523 \times 365 \times (1 + 10,2/100)^{-20}$$

$$W18 = 1332349 \text{ Kips}$$

4.1.4.3. Barrio 26 de Agosto (Zona Parada al Norte)



Figura 4.5. Ubicación del Barrio 26 de Agosto (zona parada al norte)

Fuente: Elaboración Propia.

El barrio 26 de Agosto se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Tarija el área destinado al diseño de pavimento de concreto de arena, de este barrio ponemos en estudio la calle 1 para el dimensionamiento de pavimento de concreto de arena.

Las características del suelo de la subrasante se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, los mismos detallados en el anexo (ensayos de laboratorio) las características obtenidas son las siguientes:

TABLA 4.6

**RESULTADOS DE LABORATORIO “ZONA PARADA AL NORTE BARRIO
26 DE AGOSTO CALLE 1”**

Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad		4.47	3.09	4.29
Límites de Atterberg (%)	LL (%)	46	26	40
	LP (%)	33	28	35
	IP (%)	12	8	5
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	OL (limos organicos y arcillas limosas organicas de baja plasticidad)		
	A.A.S.T.H.O.	A-4		
Compactación	C.H.O. (%)	15	14.26	14
	D.max. (gr/cm ³)	1.69	1.75	1.71
CBR	100 %	4.1	5	5
	95 %	3,5	4	4.3

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla, se presenta el resumen del Estudio de Tráfico desarrollado para el presente trabajo, con sus tendencias de crecimiento, a objeto de que el diseño tenga un horizonte de 20 años.(anexo análisis de trafico)

TABLA 4.7

CALCULO DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO PROYECTADO

		AÑOS	TPD	TPD PROYECTADO
	AFORO	2013	91	91
1	PUESTA EN SERVICIO	2015		100
2		2016		111
3		2017		122
4		2018		134
5		2019		148
6		2020		163
7		2021		180
8		2022		198
9		2023		218
10		2024		240
11		2025		265
12		2026		292
13		2027		322
14		2028		354
15		2029		391
16		2030		430
17		2031		474
18		2032		523
19		2033		576
20		2034		635

Fuente: Elaboracion Propia

CALCULO DEL W18

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1+i)^n$$

$i = 10,2\%$
 $n = 20 \text{ años}$

$$W_{18} = 412 \times 365 \times (1 + 10,2/100)^{20}$$

$$W_{18} = 1616583 \text{ Kips}$$

4.1.4.4. Zona Temporal

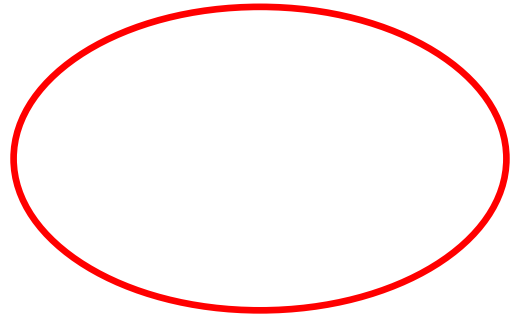




Figura 4.6. Ubicación de la zona Temporal

Fuente: Elaboración Propia.

La zona Temporal se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Tarija el área destinado al diseño de pavimento de concreto de arena, esta zona ponemos en estudio la para el dimensionamiento de pavimento de concreto de arena.

Las características del suelo de la subrasante se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, los mismos detallados en el anexo (ensayos de laboratorio) las características obtenidas son las siguientes:

TABLA 4.8

RESULTADOS DE LABORATORIO “ZONA TEMPORAL”

Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad		4.93	4.87	4.87
Límites de Atterberg (%)	LL (%)	46	46	46
	LP (%)	33	35	33
	IP (%)	12	11	12
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	OH (arcillas orgánicas de media y alta plasticidad)		
	A.A.S.T.H.O.	A-5		
Compactación	C.H.O. (%)	18	17.68	17.68
	D.max. (gr/cm ³)	1.72	1.71	1.73
CBR	100 %	8	9	13
	95 %	7	6.6	8.3

Tabla 4.7. Resultados de Laboratorio “Zona el Temporal”

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla, se presenta el resumen del Estudio de Tráfico desarrollado para el presente trabajo, con sus tendencias de crecimiento, a objeto de que el diseño tenga un horizonte de 20 años.(anexo análisis de tráfico)

TABLA 4.9

CALCULO DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO PROYECTADO

		AÑOS	TPD	TPD PROYECTADO
	AFORO	2013	89	89
1	PUESTA EN SERVICIO	2015		98
2		2016		108
3		2017		119
4		2018		131
5		2019		145
6		2020		159
7		2021		176
8		2022		194
9		2023		213
10		2024		235
11		2025		259
12		2026		285
13		2027		315
14		2028		347
15		2029		382
16		2030		421
17		2031		464
18		2032		511
19		2033		563
20		2034		621

Fuente: Elaboración Propia

CALCULO DEL W18

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1+i)^n$$

$i = 10,2\%$
 $n = 20 \text{ años}$

$$W18 = 621 \times 365 \times (1 + 10,2/100)^{20}$$

$$W18 = 1581054 \text{ Kips}$$

4.1.4.5. Barrio Aranjuez (calle Angel Baldiviezo)

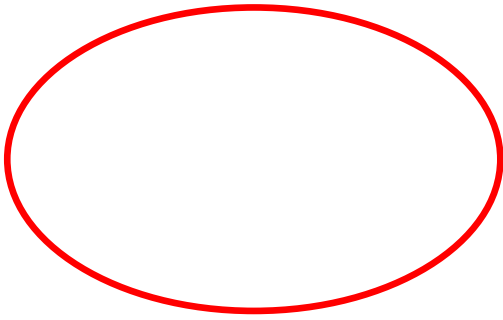




Figura 4.7. Ubicación del Barrio Aranjuez

Fuente: Elaboración Propia.

El barrio Aranjuez se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Tarija el área destinado al diseño de pavimento de concreto de arena, de este barrio ponemos en estudio la calle Ángel Baldiviezo para el dimensionamiento de pavimento de concreto de arena.

Las características del suelo de la subrasante se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, los mismos detallados en el anexo (ensayos de laboratorio) las características obtenidas son las siguientes:

TABLA 4.10

**RESULTADOS DE LABORATORIO “BARRIO ARANJUEZ CALLE
ÁNGEL BALDIVIEZO”**

Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad		4.19	3.56	3.84
Límites de Atterberg (%)	LL (%)	27	27	27
	LP (%)	26	21	20
	IP (%)	2	6	7
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	CL (arcillas inorgánicas de baja y media plasticidad)		
	A.A.S.T.H.O.	A-6		
Compactación	C.H.O. (%)	13.18	12.6	14.69
	D.max. (gr/cm ³)	1.79	1.84	1.75
CBR	100 %	8	7	7
	95 %	6	5.5	5.06

Tabla 4.9. Resultados de Laboratorio “Barrio Aranjuez calle Ángel Baldiviezo”

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla, se presenta el resumen del Estudio de Tráfico desarrollado para el presente trabajo, con sus tendencias de crecimiento, a objeto de que el diseño tenga un horizonte de 20 años.(anexo análisis de tráfico)

TABLA 4.11

CALCULO DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO PROYECTADO

	AÑOS	TPD	TPD PROYECTADO

	AFORO	2013	69	69
1	PUESTA EN SERVICIO	2015		76
2		2016		84
3		2017		92
4		2018		102
5		2019		112
6		2020		124
7		2021		136
8		2022		150
9		2023		165
10		2024		182
11		2025		201
12		2026		221
13		2027		244
14		2028		269
15		2029		296
16		2030		326
17		2031		360
18		2032		396
19		2033		437
20		2034		481

Fuente: Elaboracion Propia

CALCULO DEL W18

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1+i)^n$$

$i = 10,2\%$
 $n = 20 \text{ años}$

$$W_{18} = 481 * 365 * (1 + 10,2/100)^{20}$$

$$W_{18} = 1225761 \text{ Kips}$$

Los ensayos de Laboratorio fueron adjuntados en Anexos y los valores de CBR obtenidos en laboratorio fueron corroborados de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 4.12

RANGOS DE CBR SEGÚN CLASIFICACIÓN Y USO

CBR	Clasificación General	Usos	Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Sub rasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3-7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7-20	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20-50	Bueno	Sub base y Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-a, A-2-4, A-3

Fuente: Carreteras, Calles, Aeropuertos; Valle Rodas Raúl.

Los ensayos de Laboratorio fueron adjuntados en Anexos y el valor de CBR obtenido en laboratorio fue corroborado de acuerdo a la tabla

4.2. PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO

El método de dimensionamiento AASTHO para losas de concreto sobre el terreno está bien establecido y aceptado a nivel mundial, este procedimiento es aplicable para losas a la intemperie o en el interior.

4.2.1. SEGÚN MÉTODO AASTHO

Espesor de las losas para el pavimento de concreto de arena en el barrio 26 de Agosto.

- **Serviciabilidad**

La serviciabilidad, es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, además de servir al tránsito para el cual ha sido diseñado; de esta forma se tiene un índice de serviciabilidad inicial y otro final.

- **Serviciabilidad Inicial (p_0)**

La serviciabilidad inicial está referida al momento inmediato después de la construcción y dependerá de la calidad de ejecución y nivel de control durante la construcción del pavimento, es decir, a mayor calidad en la ejecución, mayor será la serviciabilidad.

La ASSTHO recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual $p_0 = 4.5$, valor que ha sido adoptado para el área en estudio.

- **Serviciabilidad Final (p_t)**

En el presente estudio, considerando la importancia de las vías estudiadas, se adopta un valor de $p_t = 2.5$.

- **Módulo de Ruptura del Hormigón a los 28 días (S'_c)**

Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor.

$$S'_c = 625.86 \text{ psi}$$

- **Módulo de Elasticidad (E_c)**

En nuestro caso, es el siguiente:

Formula del Instituto Americano del Concreto (ACI)

$$E_c = (\delta^{1.5}) * (0.14 \sqrt{f'_c})$$

Donde:

f_c' = resistencia del hormigón
 peso volumétrico del
 δ = concreto
 1,440 y 2,480 kg/m^3

$$\rightarrow E_c = 15100\sqrt{f_c'}$$

Fc=	210	175	140	
Ec=	250562,00	228730,76	204583,02	kg-cm2
Ec=	3563829,35	3253316,12	2909854,53	psi

- Módulo de Reacción de la Subrasante (k)

El valor de este módulo obtenido es:

Para CBR = 3,9 % $\Rightarrow K = 135,48$ pci

- Nivel de Confianza (R)

El valor de nivel de confianza es:

R = 90 %

- Desviación Estándar Global (S_o)

La AASHTO recomienda un valor de 0.35. Por lo tanto el valor adoptado será de:

S_o = 0.35

- Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, se debe usar coeficientes mayores para valores bajos de K.

El factor adoptado es:

$$J = 3$$

- **Coeficiente Global de Drenaje (C_d)**

Las condiciones de la zona, indican un drenaje excelente; por lo tanto, el coeficiente global de drenaje adoptado es:

$$C_d = 1.$$



$$\text{Espesor de losa} = 7,3\text{pul} = 18,69 \text{ cm} \quad \mathbf{19\text{cm}}$$

4.2.2. Procedimiento de Dimensionamiento Según Tipología

El método considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas que puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas y el criterio de la fatiga del pavimento de concreto que puede fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

Sin embargo, a pesar de dicho procedimiento establecido, la tipología específica de cada pavimento rígido a diseñar, establece ciertas particularidades para cada caso; en el presente estudio, se realiza el análisis de los siguientes aspectos:

- Geometría de Losas
- Espesor de Losa

4.2.2.1. Geometría de Losas

Todos los pavimentos de concreto requieren del diseño adecuado de juntas, el cual parte del chequeo de las dimensiones para evitar fisuración y agrietamiento debido al fenómeno de contracción volumétrica y alabeo producido por los cambios de temperatura.

La fisuración del concreto puede aparecer a edades tempranas, durante el periodo de fraguado inicial, en el cual el concreto vive un cambio de estado plástico a estado sólido. La formación de pequeños cristales debido a la hidratación del cemento le dan una apariencia rígida pero aún con baja resistencia a la tensión.

Una mezcla de concreto, debido a las corrientes del viento, altas temperaturas o a la baja humedad del ambiente produce tensiones en la capa superficial muy superiores a las fuerzas que están uniendo los cristales. Se generan así, fisuras que pueden ser tan críticas como las mismas condiciones climáticas que las provocaron.

En conclusión, la fisuración aparece cuando se restringe el libre movimiento volumétrico de la masa de concreto.

El espaciamiento entre las juntas puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\Delta L = C \times L \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)$$

Donde:

ΔL = Apertura de la junta. Normalmente entre 1.3 y 6.4 mm.

C = Factor de ajuste debido a la fricción base – losa

0.8 para base granular

0.65 para base estabilizada

L = Espaciamiento entre juntas o longitud de la losa en mm.

α_t = Coeficiente de expansión térmica del concreto

Normalmente entre 9 y $10.8 * 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

ΔT = Rango de temperatura determinado como:

Temperatura media anual del sitio menos la más baja temperatura media mensual

ϵ = Coeficiente de contracción por secado del concreto, Normalmente entre 0.5 y $2.5 * 10^{-4}$

En el proceso de endurecimiento el concreto presenta disminución volumétrica por pérdida de humedad debido a la evaporación natural y al aumento de la temperatura interna de la masa de concreto ocasionada por las reacciones químicas que dan paso a la etapa de fraguado inicial. Es en esta etapa cuando el concreto es joven y de baja resistencia a la tensión es sometido al rozamiento restrictivo que le impone la superficie de apoyo.

Se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\sigma_o = \frac{L \times f \times \gamma}{2}$$

Donde:

L = Longitud de la losa, en m.

f = Coeficiente de fricción entre la losa y la superficie de apoyo.

0.8 para base granular

0.65 para base estabilizada

γ = Densidad del concreto, en ton/m^3 .

σ_o = Esfuerzo de tensión generado en el concreto, debe ser menor del 8% del módulo de rotura, en kg/cm^2 .

Para nuestro estudio se tiene lo siguiente:

- a) Geometría de las losas para pavimento de concreto de arena

- El cálculo del espaciamiento entre las juntas puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\Delta L = C \times L \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)$$

Utilizamos:

$\alpha_t = 10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ Alta expansión térmica del concreto, común en concreto fabricados con cemento que presenta alto calor de hidratación en su proceso de fraguado inicial y final o fabricados con cemento a alta temperatura.

$C = 0.65$ Coeficiente de rozamiento para base estabilizada.

$\Delta T = (17.7^{\circ}\text{C} - 12.1^{\circ}\text{C}) = 5.6^{\circ}\text{C}$

Para Municipio de Tarija: Temperatura media anual 17.7°C

Menor temperatura promedio mensual 12.1°C

$\epsilon = 2.5 \times 10^{-4}$ Alta contracción por secado del concreto.

Reemplazando los datos tenemos la separación máxima entre juntas:

$$L = \Delta L C (\alpha_t \Delta T + \epsilon)$$

$$L=5\text{mm}0.65*(10.8*10^{-6}\text{C}^{\circ}*17.7\text{C}-12.1\text{C}+2.5*10^{-4})$$

$$L=24775.53\text{mm}$$

$$L=24.77\text{m}$$

- El cálculo de la longitud de losa para evitar fallas por tracción puede ser calculado con la siguiente expresión:

Utilizamos:

$$\sigma^{\circ}=L*f*\gamma^2$$

Módulo de ruptura 44 kg/cm^2

$f = 0.65$ base estabilizada

$\gamma = 2.2 \text{ ton/m}^3$

$$L = \sigma^o * 2f * \gamma$$

$$L = 0.08 * 44 \text{ kg/cm}^2 * 20.65 * 2.2 \text{ ton/cm}^2$$

$$L = 4.92 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

La longitud de losa para evitar fallas por tracciones de 4.92 m se adopta 5m por proceso constructivo.

Con el fin de evitar fisuras ocasionadas por los dos fenómenos descritos en los párrafos anteriores, se recomienda que la longitud de las losas (L), debe ser menor o igual a 25 veces el espesor de la losa (h) y que la relación L/b no supere el valor de 1.40.

Por tanto si $h = 20 \text{ cm}$

$$L \leq 25 \cdot h$$

$$5 \leq 25 \cdot 0,20$$

$$5 \text{ m} \leq 5 \text{ m}$$

Entonces el valor de b será:

$$Lb = 1.40$$

$$b=51.40$$

$$b=3,57$$

Se adoptará una longitud transversal de 4 m, debido al proceso constructivo.

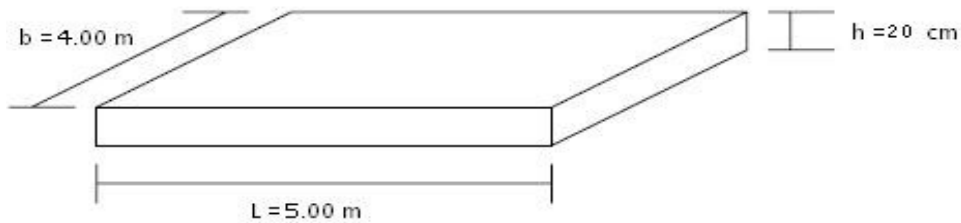


Figura 4.8. Esquema gráfico de las dimensiones de losa para el pavimento de concreto de arena

4.2.2.2. Espesor de Losa

El espesor de la losa debe ser capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones producidos por la acción de cargas, además que a mayor espesor se reduce el número de fisuras longitudinales y transversales.

4.2.2.3. Juntas

La función de las juntas longitudinales es controlar los efectos del cambio volumétrico del concreto debido a los cambios de temperatura ambiente y cumplen también la función de facilitar el proceso constructivo.

Las juntas transversales por su parte cumplen funciones más amplias, deben controlar el fenómeno de retracción del concreto, controlar los movimientos diferenciales entre el pavimento y las estructuras vecinas y facilitar el proceso constructivo.

Todos los pavimentos de concreto requieren del diseño adecuado de juntas, el cual parte del chequeo de las dimensiones para evitar fisuración y agrietamiento debido al fenómeno de contracción volumétrica y alabeo producido por los cambios de temperatura.

Las juntas constituyen puntos vulnerables para los materiales de apoyo y el deterioro es mayor cuanto más baja sea la calidad del material. En presencia de agua, las juntas permiten la migración de ella a través de la interfase losa- base y base- subrasante; el agua acumulada es expulsada a presión bajo el efecto de las cargas arrastrando con ella gran cantidad de finos, el resultado final es una gran oquedad bajo la junta que permite que la losa trabaje en voladizo.

Para nuestro estudio, se tiene el siguiente tipo de juntas:

Juntas de las losas para pavimento de concreto de arena en la calle salinas

Con el propósito de mantener unidas las losas de pavimento de concreto o con el fin de transmitir cargas verticales de una losa a otra, se emplea dispositivos especiales llamados pasadores y pasajuntas; es muy común emplear como pasadores varillas corrugadas redondas de 5/8" y como pasajuntas varillas lisas redondas de 5/8" de diámetro.

- Pasadores

Su objetivo es mantener con ellos unidas a las losas; el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para fricción entre el pavimento y la subrasante o la subbase, en la distancia comprendida entre la junta y el bordo libre.

Datos diseño para Pasadores

Tipo de varillas: Corrugadas

Diámetro de varillas: 5/8" (1.59 cm)

Esfuerzo de trabajo a tensión del acero: 1400 kg/cm²

Distancia de junta a junta: 3 m (300 cm)

Espesor de la losa: 19 cm

Peso volumétrico del concreto: 2.2 ton/m³

Esfuerzo admisible de adherencia entre el concreto y el acero: 29 kg/cm²

Coefficiente de fricción: 2

La separación de pasadores se calcula a través de la siguiente expresión:

$$l = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times a \times h \times \gamma \times f}$$

$$l = \frac{\pi \times (1.59 \text{ m})^2 \times 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4 \times 300 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 0.0022 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 2}$$

$$l = 111 \text{ cm}$$

De acuerdo al Ing. Carlos Crespo Villalaz, el rango de separación máxima para pasadores es de 45 cm y la separación mínima de 20 cm.

Por tanto la separación final de pasadores será:

$$l = 45 \text{ cm}$$

La longitud de las varillas pasadores que se emplean para mantener las losas unidas se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times p \times u}$$

$$b = \frac{\pi \times (1.59 \text{ cm})^2 \times 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4 \times 5 \text{ cm} \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

Como la fórmula sólo considera la mitad de la longitud necesaria para pasadores, la longitud final de pasadores será:

$$\text{Longitud final de pasadores} = b \times 2$$

$$\text{Longitud final de pasadores} = 20 \text{ cm} \times 2$$

$$\text{Longitud final de pasadores} = 40 \text{ cm}$$

- Pasajuntas

El objetivo de las pasajuntas es transferir cargas de una losa a otra, permitiendo que las juntas puedan abrir y cerrar, pero manteniendo las losas a la misma altura.

Datos diseño para Pasajuntas

Tipo de varillas: Lisas

Diámetro de varillas: 5/8" (1.59 cm)

Carga de rueda: 6842.6 kg

Se calcula el radio de rigidez relativa entre losa y subrasante, a través de la fórmula:

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

$$I = \sqrt[4]{\frac{281227 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (19 \text{ cm})^3}{12 \times (1 - 0.15^2) \times 5.25 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}}}$$

$$l = 74.81 \text{ cm}$$

De tabla para las capacidades de transmisión de cargas en kg, se determina la capacidad de transmisión de carga para el pasajuntas de 5/8" y abertura de junta de 5 mm.

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = \frac{\text{Carga de rueda}}{\text{Capacidad de transmisión de carga de un pasajuntas}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = \frac{6842.6 \text{ kg}}{2500 \text{ kg}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = 3$$

Donde cuatro son las pasajuntas necesarias a distancias uniformes en la longitud 1.8 l.

Conociendo la rigidez relativa se procede al cálculo de separación de pasajuntas, a través de la fórmula indicada a continuación:

$$\text{Separación de pasajuntas} = \frac{1.8 \times l}{N^{\circ} \text{ de pasajuntas} - 1}$$

$$\text{Separación de pasajuntas} = \frac{1.8 \times 74.81 \text{ cm}}{3 - 1}$$

$$\text{Separación de pasajuntas} = 67.33 \text{ cm}$$

De acuerdo al Ing. Carlos Crespo Villalaz, el rango de separación máxima para pasajuntas es de 40 cm y la separación mínima de 30 cm.

Por tanto, la separación final de pasajuntas será:

$$l = 40 \text{ cm}$$

De la tabla 2.5 para las capacidades de transmisión de cargas en kg, se determina la longitud recomendada del pasajuntas para un diámetro de 5/8" y abertura de junta de 5 mm, siendo esta:

$$L = 37.5 \text{ cm}$$

TABLA 4.13

**DIMENSIÓN DE PASADORES Y PASAJUNTAS PARA
PAVIMENTO DE CONCRETO DE ARENA**

Diseño de Pasadores y Pasajuntas para Pavimento de Concreto de Arena calle Salinas	
Pasadores	
Diámetro de varilla	1.59 cm
Separación de pasadores	45 cm

Longitud de pasadores	40 cm
Pasajuntas	
Diámetro de varilla	1.59 cm
Separación de pasajuntas	40 cm
Longitud de pasajuntas	37.5 cm

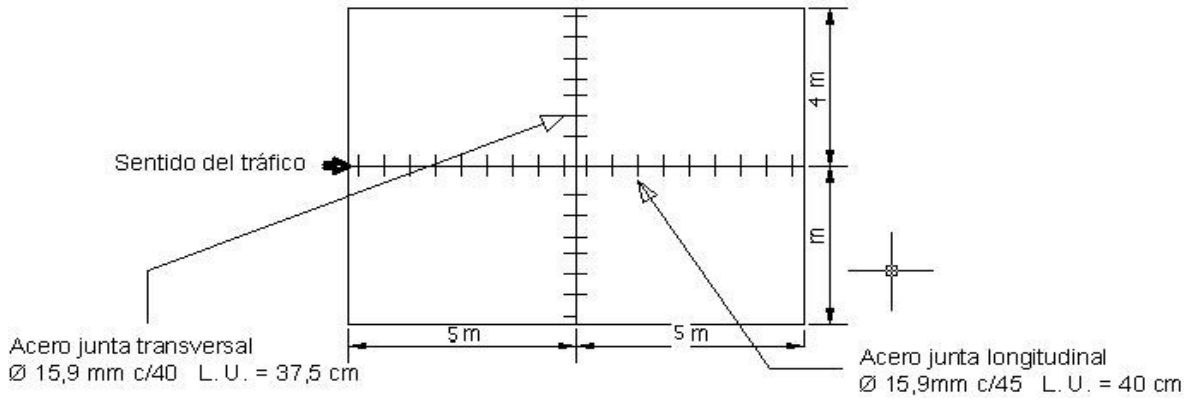


FIG.4.9

Disposición de pasadores y pasajuntas para pavimento de concreto de arena

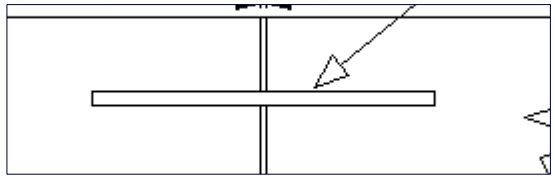


Figura 4.10

Sección transversal de junta con pasador para pavimento de concreto de arena

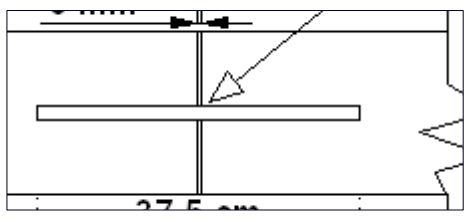


Figura 4.11

Sección transversal de junta con pasajuntas para pavimento de concreto de arena

4.2.3. DISEÑO DE ESPESORES EN LAS DIFERENTES ZONAS DE ESTUDIO SEGÚN METODO AASTHO

Espesor de las losas para el pavimento de concreto de arena en diferentes zonas.

a) DATOS DEL BARRIO CONSTRUCTOR

TABLA 4.14

	210 Kg/cm²	175 Kg/cm²	140Kg/cm²
W18 (Kips) =	1136938	1136938	1136938
Po =	4,5	4,5	4,5
Pt =	2,5	2,5	2,5
S'c (Psi) =	625,86	298.72	241,89
Ec (Psi) =	3563829,35	3253316,12	2909854,53
k (Pci) =	189,66	189,66	189,66
R (90%)=	90	90	90
So =	0,35	0,35	0,35
J =	3	3	3
cd =	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

CALCULO DE ESPESORES CON EL METODO AASTHO (CONSTRUCTOR)

FIG.4.12

TABLA 4.15

ESPEORES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DE ARENA (CONSTRUCTOR)

	pul		cm
D =	6,7		17
D =	10,3		26
D =	11,5		29

Fuente: Elaboración Propia

b) DATOS DEL BARRIO MORROS BLANCOS

TABLA 4.16

	210 Kg/cm2	175 Kg/cm2	140Kg/cm2
W18 (Kips) =	1332349	1332349	1332349
Po =	4,5	4,5	4,5
Pt =	2,5	2,5	2,5
S'c (Psi) =	625,86	298.72	241,89
Ec (Psi) =	3563829,35	3253316,12	2909854,53
k (Pci) =	198,7	198,7	198,7
R (90%)=	90	90	90
So =	0,35	0,35	0,35
J =	3	3	3
cd =	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia

CALCULO DE ESPESORES CON EL METODO AASTHO (MORROS BLANCOS)

The screenshot shows the 'Ecuación AASTHO 93' software interface. Key parameters and their values are as follows:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90% $Z_r=1.282$, $S_o = 0.35$
- Serviciabilidad inicial y final:** (Empty fields)
- Módulo de reacción de la subrasante:** (Empty field)
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3563829.35
 - Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 625.86
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): 3
 - Coefficiente de drenaje - (Cd): 1
- Tipo de Análisis:** Calcular D
- W18 =** 1332349
- Espesor de losa (plg) D =** 6.9

FIG. 4.13

TABLA 4.17

ESPEORES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DE ARENA (MORROS BLANCOS)

	pul		cm
D =	6,9		18
D =	10,5		27
D =	11,8		30

Fuente: Elaboración propia

c) DATOS DEL BARRIO 26 DE AGOSTO (ZONA PARADA AL NORTE)

TABLA 4.18

	210 Kg/cm2	175 Kg/cm2	140Kg/cm2
W18 (Kips) =	1616583	1616583	1616583

Po =	4,5	4,5	4,5
Pt =	2,5	2,5	2,5
S'c (Psi) =	625,86	298.72	241,89
Ec (Psi) =	3563829,35	3253316,12	2909854,53
k (Pci) =	135,48	135,48	135,48
R (90%)=	90	90	90
So =	0,35	0,35	0,35
J =	3	3	3
cd =	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

CALCULO DE ESPESORES CON EL METODO AASTHO (PARADA AL NORTE)

FIG. 4.14

TABLA 4.19

ESPEORES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DE ARENA (PARADA AL NORTE)

	pul		cm
D =	7,3		19

D =	11,3		29
D =	12,5		32

Fuente: Elaboración propia

d) DATOS DE LA ZONA EL TEMPORAL

TABLA 4.20

	210 Kg/cm2	175 Kg/cm2	140Kg/cm2
W18 (Kips) =	1581054	1581054	1581054
Po =	4,5	4,5	4,5
Pt =	2,5	2,5	2,5
S'c (Psi) =	625,86	298.72	241,89
Ec (Psi) =	3563829,35	3253316,12	2909854,53
k (Pci) =	178,83	178,83	178,83
R (90%)=	90	90	90
So =	0,35	0,35	0,35
J =	3	3	3
cd =	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

CALCULO DE ESPESORES CON EL METODO AASTHO (TEMPORAL)

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93" with the following fields and values:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 % Zr=-1.282, So = 0.35
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.5, PSI final = 2.5
- Módulo de reacción de la subrasante:** k = 178.83 pci
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3563829.35
 - Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 625.86
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): 3
 - Coefficiente de drenaje - (C_d): 1
- Tipo de Análisis:** Calcular D, Calcular W18
- W18 =** 1581054
- Esesor de losa (plg):** D = 7.2

Buttons: "Calcular" and "Salir"

FIG. 4.15

TABLA 4.21**ESPEORES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DE ARENA (TEMPORAL)**

	pul		cm
D =	7,2		18
D =	10,8		28
D =	12,2		31

Fuente: Elaboración propia

e) DATOS DE LA ZONA ARANJUEZ**TABLA 4.22**

	210 Kg/cm2	175 Kg/cm2	140Kg/cm2
W18 (Kips) =	1225761	1225761	1225761
Po =	4,5	4,5	4,5
Pt =	2,5	2,5	2,5
S'c (Psi) =	625,86	298.72	241,89
Ec (Psi) =	3563829,35	3253316,12	2909854,53
k (Pci) =	148,12	148,12	148,12
R (90%)=	90	90	90
So =	0,35	0,35	0,35
J =	3	3	3
cd =	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

CALCULO DE ESPEORES CON EL METODO AASTHO (ARANJUEZ)

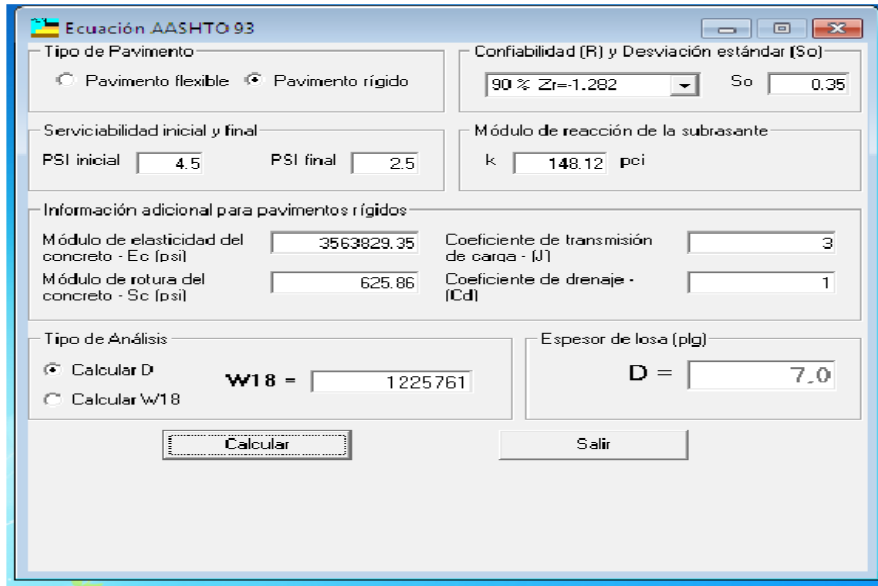


FIG. 4.16

TABLA 4.23

ESPESORES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO DE ARENA (ARANJUEZ)

	pul		cm
D =	7		18
D =	10,5		27
D =	11,7		30

Fuente: Elaboración propia

4.3.HORMIGÓN PARA LA LOSA

La capa de rodadura del pavimento se elabora de concreto de arena, material conformado por una mezcla homogénea de cemento, agregado fino y agua.

El concreto utilizado para pavimentos debe ser de alta calidad y de adecuada durabilidad, debido a que las losas de concreto están sometidas tanto a esfuerzos de tensión como de compresión.

La dosificación correcta de un concreto consiste en determinar las proporciones de cemento, agua y agregados que produzcan de manera económica, mezclas de la consistencia deseada cuando se encuentran en estado plástico, y de la resistencia específica después de que las mezclas hayan endurecido.

4.4. DOSIFICACION

La dosificación de mezclas de hormigón, es la determinación de la combinación más económica y práctica de los agregados disponibles, cemento y agua, que producirá una mezcla con un endurecimiento adecuado. Explicada detalladamente en el Anexo (dosificación).

El procedimiento más práctico es determinar la mezcla y hacer correcciones necesarias en obra. La dosificación de la mezcla de prueba, puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.

Cuando la obra es de magnitud, es más necesario y exigente los ensayos de laboratorio. Las determinaciones mínimas de laboratorio que permitirán el proporcionamiento eficiente de las mezclas de prueba son granulometría, peso específico, absorción y humedad de los agregados.

4.5. MATERIALES:

El hormigón o también llamado concreto es una masa heterogénea constituida básicamente por agregado cemento, agua, aire y algunas veces aditivos que una vez endurecidos tienen la característica de esfuerzos mecánicos en especial los de compresión.

El cemento Portland es el pegante o ligante hidráulico es decir, el material en determinadas condiciones es capaz de endurecer en el transcurso del tiempo uniendo los materiales heterogéneamente. En particular el cemento Portland se endurece al ponerlo al contacto con el agua (proceso de hidratación) lo que da lugar a una acción inicial de fraguado, que a su

termino convierte la masa plástica del concreto fresco en una masa endurecida e indeformable.

Luego de que el concreto a fraguado continua un largo periodo de endurecimiento por lo alcanza la resistencia mecánica prevista.

El proceso de endurecimiento es indefinido pero se considera que a los 28 días se obtiene la resistencia de trabajo por lo cual se expresa en kg/cm² o libra /pulg².

A la mezcla de cemento ,agua y aire naturalmente atrapado ó introducido a propósito se la conoce como pasta de cemento y constituye el llamado MATRIZ .Así mismo a la mezcla de la pasta de cemento y arena se la llama MORTERO.

El aire atrapado es aquel que queda incluido inevitablemente dentro de la mezcla durante el proceso del mezclado y colocación del concreto dentro del encofrado. El aire introducido al propósito se refiere a las burbujas que les son introducidas a la mezcla por medio de un aditivo o un cemento especial con el fin proporcionarles características del concreto. Por su parte los aditivos son sustancias químicas que eventualmente son añadidas a la mezcla para modificar algunas de sus características.

Una de las principales características del hormigón es sin duda. Su resistencia al esfuerzo de compresión, esta resistencia comparada con su capacidad de absorber esfuerzos de tracción es realmente apreciable.

En el entendido de que toda la estructura de hormigón simple o reforzado esta diseñada para trabajar solicitaciones requeridas . Se constituye en principal prueba la medida de la calidad estructural del hormigón en su resistencia a la compresión . Los ensayos tienen lugar, vaciando a las probetas cilíndricas de 6x12”, cantidades de hormigón de diferente dosificación y de diferente contenido de agua para que transcurrido algunos lazos de tiempo especificados se sometan en las probetas en proceso la cantidad de fuerza necesaria para llegar al colapso del espécimen.

4.5.1. LA ARENA.

Las mejores arenas son las de río, ya que salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no de que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad; la arena de mina suele

tener arcilla en exceso , por lo que generalmente es preciso; las arenas de mar, si son limpias pueden emplearse en hormigón armado previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen del machacado ó machaqueo de granitos basálticos y rocas análogas, son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acusen un principio de descomposición. Deben rechazarse de forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolización de los feldespatos).

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable, siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua en el amasado que las silíceas; su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo en pavimentos, etc.), deben confeccionarse con arena silícea, al menos en un 30 por ciento de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones, sobretodo cuando se dosifica en volumen, por ello es siempre necesario tenerla en cuenta.

La arena no debe contener sustancias perjudiciales al hormigón, debe ser limpia.

Granulometría

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de los tamaños de partículas de agregado fino utilizando tamices de aberturas cuadradas, siendo también aplicable al empleo de cribas de laboratorio (de aberturas circulares).

La arena suele dividirse a partir de los 2 mm. en arena gruesa y arena fina, llamándose polvo ó finos de la arena a la fracción inferior a 0,08 mm.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO



FIG. 4.17

Granulometría para esta dosificación explicada en el Anexo granulometría agregado fino,

con un : $MF = 2,69$

$\%$ de Humedad = 1,06

Datos obtenidos mediante ensayo en el laboratorio.

Peso Especifico

Peso especifico es la relación del peso al Aire, de un determinado volumen de material, a una cierta temperatura y el peso, al aire de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

Los suelos a usarse en el ensayo, para la determinación del peso especifico, puede tener su humedad natural o puede estar secado al horno. Cuando la muestra tiene su humedad natural, al peso W_s del suelo deberá determinarse al final del ensayo.

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las silíceas. Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo en pavimentos) deben confeccionarse con arena silícea al menos en un treinta por ciento de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones sobre todo cuando se dosifica en volumen. Por ello es necesario tenerla siempre en cuenta. La arena no debe contener sustancias perjudiciales para el hormigón.

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO



FIG. 4.18

P.E. Agranel (gr/cm³) = 2,06

P.E. Saturado (gr/cm³) = 2,09

P.E. Aparente (gr/cm³) = 2,13

% de Absorción = 1,47

Datos obtenidos en el ensayo de laboratorio descrito en el Anexo (Caracterización del Agregado fino)

Peso Unitario Suelto y Compactado

Peso Unitario Suelto.- Se usará invariablemente para la conversión de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de áridos por metro cúbico de hormigón.

Peso Unitario Compactado.- Este valor se usará para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados y que estén sujetos a acomodamiento provocados por el tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo.

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO



FIG. 4.19

Datos obtenidos una vez realizada la practica en el laboratorio

Peso Unitario Suelo Suelto (gm/cm³) =1,654

Peso Unitario Compactado (gm/cm³) = 1,746

4.5.2. CEMENTO:

Los cementos tienen varias características que los diferencian entre sí, las principales de estas características son la finura, el peso específico, la velocidad de fraguado y la expansión. Cada uno de estos puntos los analizaremos resumidamente, profundizando el concepto de finura, que es al que nos dedicaremos en la práctica:

Cementos Pórtland, tipo I.- Son los conglomerados hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor del 95% en masa y de cualquiera de los componentes adicionales definidos en la Norma Boliviana de Cemento, o mezclas de ellos en proporción no mayor del 5% en masa. En este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que deberá añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Peso específico.-

El peso específico de los cementos varía según el tipo de cemento y su composición entre 3 y 3,15 g/cm³. Algunas normas establecen que el peso específico sea igual o superior a 3, lo que generalmente se cumple.

Velocidad de Fraguado.-

La velocidad de fraguado de un cemento es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento.

Finura de molido.-

La finura como su nombre lo indica, es el tamaño de las partículas de cemento, que se define en el proceso industrial de la molienda de los componentes del cemento. En este proceso interviene un factores técnico que debe analizarse, el grado de finura, puesto que según este grado se clasifican los cementos en tres tipos.

En el proceso de la molienda de cemento Pórtland simple, como prácticamente se muele solamente clinker, se produce una fragmentación gradual, que se manifiesta en una curva de granulometría continua, prolongando el proceso de la molienda simplemente para lograr la finura requerida. Es por esta homogeneidad del material que al comparar dos cementos Pórtland de distinta procedencia pero del mismo tipo, se observa que los requerimientos de agua al elaborar el concreto es mínima. Esto no ocurre cuando se trata de cementos Pórtland puzolánico, debido a que se muelen conjuntamente el clinker y la puzolana, que tienen distinto grado de uniformidad y dureza, aparte de esto la existencia de una gran variedad de puzolanas evidencia aún más este hecho, especialmente al comparar cementos de distinta procedencia.

Los efectos que derivan de la finura son muchos, debiendo escogerse el que mejor se adapte a las condiciones de la obra a realizar. Al aumentar ó disminuir la finura un cemento adquiere las siguientes características:

- Al aumentar la finura, se hidrata, lo que ocasiona que el cemento adquiera resistencia con mayor rapidez cuando es más fino.
- Con el aumento de la finura, las partículas al ser más diminutas, se mantienen en suspensión con mayor facilidad en una pasta recién mezclada, lo que produce una mayor cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto.
- Un cemento con granos muy gruesos, produce mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son

indeseables porque se traducen en mayores cambios volumétricos del concreto y posibles agrietamientos en las estructuras.

Basados en estas propiedades de la finura, a los cementos debe dárseles una finura adecuada para que cumplan con las normas de superficie específica y resistencia a la compresión.

Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo, es decir, que no los considera índices decisivos para juzgar la calidad del cemento Pórtland puzolánico.

La finura de un cemento se mide por sus residuos en dos tamices tipo, de 900 y 4900 mallas por cm^2 , respectivamente; ó bien determinando su superficie específica por algún procedimiento, siendo el blaine el empleado con preferencia. Lo principal es que el alcance sus debidas resistencias, a las distintas edades, es por esta razón que la calidad del clinker es de mucha mayor importancia que el de la finura del cemento.

4.5.3. AGUA

El agua es un elemento fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido; por lo que debe tenerse muy en cuenta la calidad de la misma. A continuación citaremos algunos requisitos que debe cumplir el agua

El agua a emplearse en la preparación del concreto y en el curado de probetas, deberá ser limpia o preferiblemente potable y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

Con el fin de garantizar la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, es necesario regirse a los siguientes valores máximos admisibles (tabla 1.7), los mismos que son normalizados internacionalmente.

TABLA 4.24

SUSTANCIAS DISUELTAS ADMISIBLES EN EL AGUA

Parámetro	Método	Unidad	Límites Permitidos	Referencia Limite
Cloruros	SM 4500-CI-B	g/l	≤ 6	NB 637-94
Aceites y grasas	SM 5520-B	g/l	≤ 15	NB 637-94
pH (22,5 °C)	SM 4500-H-B		≥ 5	NB 637-94
Sólidos Suspens. Total	SM 2540-B-C	g/l	1,5	PETROBRAS
Subs. Disueltas Total	SM-2540-C	g/l	≤ 15	NB 637-94
Dureza	SM 2340-C	mgCaCO3/l		
Magnesio	SM 3500-Mg-E	g/l	0,15	PETROBRAS
Nitrógeno total	SM 4500-Norg-B	g/l		
DQO	8000-HACH	g/l		
Sulfatos	SM 4500-SO4-E	g/l	≤ 1	CBH-87

Fuente: Norma Boliviana – Brasileira

4.6. PROPORCIONES

TABLA 4.25

CANTIDADES DE MATERIAL POR CADA m3 DE CONCRETO

PROPORCION	CEMENTO		ARENA SECA (M3)	REISTENCIA ALA COMPRESION ALOS 28 DIAS	
	KILOS	SACOS DE42,5KG		Min kg/cm2	Max kg/cm2
1:2	610	14,4	0,970	280	329
1:3	545	10,7	1,090	250	300
1:4	364	8,6	1,160	214	260
1:5	302	7,1	1,200	179	214
1:6	264	6,2	1,200	140	179
1:7	228	5,4	1,250	114	140
1:8	203	4,8	1,250	86	114
1:10	166	4	1,250	64	89
1:12	141	3,3	1,250	50	70

Fuente: Documentation Concrete Baching Plants and Concrete Mixers

En función a esta dosificación se realizo las probetas proyectadas a los 28 días para determinar su resistencia y así tener un parámetro base de acuerdo a las condiciones solicitadas para este estudio

TABLA 4.26

4.7. ROTURA DE PROBETAS

Hormigón - Identificación	Edad (días)	Sección (cm2)	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm2)	Proyección 28 días (kg/cm2)
H21	7	176,72	250	25500	144,30	194,25
H21	14	176,72	340	34680	196,25	230,88
H21	14	176,72	360	36720	207,79	244,46
H17,5	7	176,72	210	21420	121,21	163,17
H17,5	14	176,72	250	25500	144,30	169,76
H17,5	14	176,72	270	27540	155,84	183,35
H14	7	176,72	160	16320	92,35	124,32
H14	14	176,72	220	22440	126,98	149,39
H14	14	176,72	210	21420	121,21	142,60

Fuente: elaboración propia

Referencias en el anexo de resistencia a compresión de las probetas



FIG. 4.20



FIG. 4.21

4.8. CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad recae principalmente en el Supervisor de los trabajos. El papel del Supervisor es el controlar, revisar, observar y registrar las actividades en ejecución. Son funciones básicas del Supervisor:

- Garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y las reglas del buen arte, para el diseño y ejecución de los trabajos.
- Efectuar la medición y valorizar los trabajos apropiados para su pago, y llevar un control de la marcha de los mismos.
- Registrar la información recopilada durante la etapa de ejecución, que será de utilidad en el futuro para establecer la eficiencia y productividad de los procedimientos.
- Mantener una relación fluida entre el contratista y el cliente, a manera de asegurar la mejor operación y eficiencia de los trabajos, para la comunidad.

La mayoría de las actividades requieren, un control permanente del Supervisor y con este criterio, se elaboran las especificaciones técnicas. Esto implica una permanencia física en el lugar de trabajo, contrariamente a la práctica de limitar su participación en las instancias iniciales -para delimitar las áreas a reparar- y finales, para comprobar la calidad final, efectuar la medición y preparar la evaluación.

Algunos principios básicos en los que se apoya el esquema de control permanente o integrado son:

- El control de calidad antes y durante la ejecución permite corregir sobre la marcha prácticas inapropiadas, evitando que se prolonguen las obras por reparar trabajos defectuosos inspeccionados a destiempo.
- Muchas etapas del proceso constructivo pueden vigilarse por simple observación, resultando más sencillo y económico que un intenso muestreo y ensayos finales que puedan poner en evidencia dichos aspectos. Un ejemplo característico es el control de compactación, para el cual puede establecerse un número mínimo de pasadas de rodillo que asegure un nivel de compactación adecuado, en vez de tener que efectuar ensayos de densidad.

- Habiendo seguido las etapas constructivas, el Supervisor podrá eventualmente interpretar las anomalías que puedan hallar en algunos resultados, que de otra manera resultarían siendo interrogantes. Esto es esencial en el desarrollo de "experiencia".
- El control durante la ejecución y su aprobación por parte del Supervisor, facilita la aceptación definitiva del producto al concluir los trabajos. El control posterior a la ejecución del trabajo deja como alternativa la no aceptación de lo construido, que no beneficia ni al contratista ni al cliente, originando conflictos.
- El control integrado o continuo, armoniza los recursos del contratista con los del Supervisor, permitiendo comprobar la real aplicación de las exigencias. El Supervisor se orienta a asegurar la calidad de la obra y no a comprobar la mala calidad.

El Supervisor no puede cambiar, revocar o suspender los requisitos de las especificaciones, tampoco debe forzar al contratista a la aplicación de métodos rígidos, sino darle la posibilidad de acceder a nuevos procesos, que al fin se traducirán en adelantos de la técnica y en beneficios económicos, aunque siempre salvaguardando los requerimientos de calidad definidos en las especificaciones.

El Supervisor tampoco debe caer en el riesgo de convertirse en Director de los Trabajos, tarea que recae sobre el Ingeniero a cargo de la obra, por parte del contratista.

El control de calidad comprende tanto materiales, equipos y procesos constructivos, siendo necesario establecer los parámetros relevantes de cada actividad o etapa.

4.8.1. INSTRUMENTOS DE CONTROL

Las especificaciones y normas para el diseño y construcción de una carretera si bien están orientadas a incrementar su calidad, es imprescindible disponer de un sistema que permita conducir el proceso de control de calidad de la manera más apropiada.

La inspección de los trabajos, el muestreo de materiales y las pruebas de laboratorio son procedimientos de control de calidad, destinados a hacer cumplir las especificaciones técnicas.

Es a través de éstas que se establecen:

- Los parámetros que definen el nivel de calidad.
- Los procedimientos y equipos para lograrlo.
- Los ensayos y su interpretación para comprobarlo.

El Supervisor cuenta con instrumentos legales y físicos para llevar a cabo con éxito sus funciones.

Los instrumentos legales están constituidos por los documentos de licitación y las especificaciones técnicas, éstos componen la documentación del contrato, en la que debe existir una definición precisa de los trabajos, con especificaciones concisas y actualizadas y un medio flexible, apto para conducir con éxito los trabajos de cada una de las actividades de construcción de pavimentos.

Los instrumentos físicos están constituidos por el laboratorio de materiales y los equipos de medición, actuando en forma armonizada con el Supervisor. Se espera de éste, preparación técnica, experiencia de obra, sentido común y ecuanimidad

4.9. VALORACIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el dimensionamiento del pavimento de concreto de arena correspondiente para la calle Salinas en el barrio constructor ante los resultados obtenidos, a distintas dosificaciones en los ensayos, realizamos una valoración técnica sobre los mismos.

En base al estudio realizado los resultados, obtenidos de dimensiones de la losa, espesor de la losa, diámetro, longitud y separación de pasadores y pasajuntas, muestran valores racionales, es decir, la dimensión de la losa de 4x5 m, es considerada de buenas dimensiones porque, por un lado, al no ser de dimensiones muy grandes elimina el riesgo de problemas de alabeo por variaciones térmicas y, por otro, como no son dimensiones tan pequeñas no encarece el costo del pavimento por la mayor cantidad de pasadores y pasajuntas; esas condiciones hacen que consideremos una dimensión de losa casi ideal. En

cuanto al espesor de diseño de 20 cm consideramos que es un espesor razonable poco conservador, debido a que las cargas varían; por lo tanto, para esas condiciones el espesor satisface las necesidades de carga. Finalmente, el dimensionamiento de los pasadores y pasajuntas cuyo diámetro es de 16 mm es razonable y cumplirá las funciones de transferencia de carga, la longitud de 37,5 y 40 cm y separación de 40 y 45 cm, son valores que satisfacen las funciones a cumplir y tienen valores que no son antieconómicos además de ser trabajables y cumplen con la norma.

Cabe resaltar que por ser un trabajo de investigación se realizó tres tipos de dosificación de concreto para fines demostrativos en los cuales se pudo demostrar que el más aconsejable es:1:3 con el cual se alcanza una resistencia proyectada a los 28 días es de 230,88kg/cm²

Los espesores calculados por el método AASTHO nos arrojan valores racionales, cabe resaltar que el método AASTHO es un método de diseño de espesores de pavimentos rígidos para carreteras, en este caso para vías urbanas de bajo tránsito donde se observa que las distintas variables que son utilizadas están destinadas a éstas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El pavimento de concreto de arena es usado con éxito en otros países, donde incluso se llegó a establecer normativas generales para su dimensionamiento.

La investigación permitió demostrar la posibilidad de ejecutar concreto de arena con materiales de la región y establecer con claridad las propiedades y características de este para validar como alternativa en la ejecución de pavimentos que requieran menor estructura por el bajo tráfico y menor inversión inicial.

La situación actual, en algunos lugares de país donde existe poco agregado grueso, obliga a elegir las otras alternativas de pavimentación. Para ello, una opción el pavimento de concreto de arena surge como una buena opción, pues tiene como principio presentar una superficie durable, segura, sin grietas, permite un uso más eficiente del espacio y una vida útil moderada del pavimento a un menor costo.

El concreto de arena permitió que se investigue en el presente trabajo después de las pruebas de laboratorio nos dan los siguientes indicadores sobre la resistencia a la compresión:

TABLA 5.1

Resistencia a compresión de 140,175 y 210 kg/cm² a 28 días proyectado.

Fuente: Elaboracion propia

El concreto de arena comparado con un concreto normal, evita el uso de grava por lo que aminora los costos del concreto como se puede evidenciar en la siguiente gráfica:

TABLA 5.2

DIFERENCIA DE COSTO

Precios unitarios (Anexo).

Fuente: Elaboracion propia

El concreto de arena en su ejecución permite mayor trabajabilidad debido al tipo de mezcla lo que nos permite tener un mejor acabado de la superficie de rodadura.

De acuerdo a los resultados obtenidos para los barrios periféricos estudiados las diferencias de los resultados se pueden visualizar en el siguiente cuadro:

TABLA 5.3

ESPEORES EN DIFERENTES ZONAS

ZONAS	K (pci)	W 18 (Kips)	210 (kg/cm)
CONSTRUCTOR	189,66	1136938	17 cm
MORROS BLANCOS	198,70	1332349	18 cm
PARADA AL NORTE	135,48	1616583	19 cm
TEMPORAL	178,83	1581054	18 cm
ARANJUEZ	148,12	1225761	18 cm

Metodo AASTHO (Anexos)

Fuente: Elaboracion propia

El pavimento de concreto de arena debe cumplir con dos premisas básicas: que cumpla con su función estructural, mantenerse estable con su capacidad de soporte, por lo menos durante la vida útil de diseño y que brinde un confort adecuado al usuario, garantizando que el pavimento tenga un diseño adecuado y una excelente construcción y mantenimiento.

El dimensionamiento de los pasadores y pasajuntas cuyo diámetro es de 16 mm es razonable y cumplirá las funciones de transferencia de carga, la longitud de 37,5 y 40 cm y separación de 40 y 45 cm, son valores que satisfacen las funciones a cumplir.

RECOMENDACIONES

El trabajo de investigación realizado con el propósito de establecer desde el punto de vista técnico la viabilidad de la aplicación del concreto de arena bajo la premisa de que el mismo sea de costo más bajo que el concreto convencional, por lo tanto se recomienda hacer un análisis específico en cada proyecto entendiendo que en vías periféricas el trafico aún es

muy bajo y un concreto de arena satisface los requerimientos de dicho tráfico, la aplicabilidad en casos de inexistencia de áridos gruesos no es el caso de análisis donde además se convierte de una mejor alternativa, en el caso nuestro es posible que existan los áridos necesarios, pero el concreto de arena se convierte en mejor alternativa por lo técnico suficiente y por un menor costo.

Se recomienda tomar en consideración que el diseño no debe limitarse a la determinación del espesor del pavimento de concreto, sino que también debe prestarse atención a los elementos que rodean al mismo (subbase, subrasante), adoptando las medidas necesarias para evitar que se produzcan fenómenos de bombeo de finos, de escalonamiento de las juntas y de formación de huecos bajo las losas.

Se recomienda determinar la frecuencia y magnitud de las cargas vehiculares, que circularán por el pavimento, con precisión pues de ésta depende el adecuado funcionamiento del pavimento; esto debido a que si se sobre estiman se incurre en costos adicionales por un diseño innecesariamente mayor al realmente requerido, o se puede presentar el caso en que el tráfico proyectado, sea menor al real, con lo cual se acorta la vida del pavimento.

Se recomienda analizar si la estructura de pavimento precisa del uso de pasajuntas y pasadores en las juntas, que va a depender del nivel de especificaciones, las expectativas del propietario, su utilización proporcionará importantes beneficios como la reducción de agrietamiento y transferencia de las cargas del tráfico.