

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

1.- ANTECEDENTES:

La elaboración de esta primera parte de la propuesta contemplará sobre todo la parte descriptiva del proyecto, donde en base a la información disponible se definirán los alcances, objetivos y resultados que se quieren lograr.

Durante el transcurso de los años se llega a observar que en la Provincia Cercado de la ciudad de Tarija se ha tenido un mejoramiento de nuestras calles y avenidas. Pero no se tomó en cuenta el mejoramiento de los caminos vecinales de las zonas aledañas, lo cual trajo una serie de inconvenientes en estos caminos, los cuales podemos nombrar algunos de ellos:

- a) Falta de diseño geométrico en diferentes tramos, de las Comunidades en la Provincia Cercado del Departamento de Tarija.
- b) No se cuenta con obras de arte (cunetas, alcantarillas de alivio, badenes, etc.)
- c) Asimismo no se cuenta con tramos asfaltados que se comuniquen con la ciudad de Tarija.

1.1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El proyecto beneficiará a la población de Sella Cercado y Sella Méndez y comunidades aledañas a la zona de estudio, las cuales pertenecen a la primera sección Municipal de la Provincia Cercado del departamento de Tarija y se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas a 21° 23'58.47" Latitud Sur y 64° 42'32.38" Longitud Oeste a una altitud de 2069 m.s.n.m.

GRÁFICO N°1

TARIJA



La comunidad de Sella Cercado se encuentra a 22 Km. De la ciudad de Tarija, de los cuales 20Km. Son asfaltados el resto del camino en regular estado puesto que esta ripiado y es la única ruta de comunicación con Sella Méndez.

GRÁFICO N°2



1.1.1.- POBLACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

De acuerdo a las estadísticas proporcionadas por la base de datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2012, se tiene el siguiente cuadro, que nos muestra la población actual entre diferentes edades.

Cuadro Población Actual comunidad de Sella Cercado

CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2001 - RESULTADOS DE POBLACIÓN						
CODIGO CARTOGRAFICO	DESCRIPCIÓN	ÁREA	Nro. DE HABITANTES	HOMBRES	MUJERES	NRO. DE VIVIENDAS
00	BOLIVIA		8,274,325	4,123,850	4,150,475	2,290,414
06	Tarija		391,226	195,305	195,921	99,121
0601	Cercado		153,457	73,954	79,503	39,913
060101	1ª SECCIÓN (Tarija)		153,457	73,954	79,503	39,913

Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

Tabla N° 1 Censo de Población y Vivienda 2012

Se propone mejorar las condiciones de vida de los habitantes de la Comunidad de Sella Cercado a través de un Diseño Final del Diseño Geométrico con pavimento flexible del camino Sella Cercado A Sella Méndez de la red Municipal de Tarija.

Se realizará un diseño geométrico, paquete estructural y diseño para el asfaltado del camino vecinal de Sella Cercado a Sella Méndez, que brinde con este asfaltado un acceso confortable al conductor siendo esta zona de interés social, turístico, agrícola y sobre todo de integración de las comunidades.

El proyecto aportará a la comunidad de Sella Cercado un Proyecto a Diseño Final de un camino con pavimento flexible que pueda solucionar el problema del estado actual del camino y generar mejoras de condiciones de vida de toda la población de la zona de estudio y lo más importante a nivel constructivo y ser financiado por las Instituciones Departamentales como ser el Gobierno Autónomo Municipal del Departamento de Tarija.

1.2.- JUSTIFICACIÓN:

La ejecución del Proyecto se justifica plenamente, tanto desde el punto de vista técnico y socioeconómico de la población beneficiaria.

Las comunidades aledañas a la ciudad de Tarija comenzarán a progresar a partir del momento que estas tengan un buen camino que facilitara una mejor comunicación con la ciudad y mejorar sus medios de transporte, por lo mismo es de mucha importancia la construcción de caminos o el mejoramiento de los ya existentes.

El camino por lo tanto estará al beneficio de las comunidades Sella Cercado, Sella Méndez, Sella Quebradas y Sella Candelaria este trabajo es una de las necesidades que tiene nuestra ciudad ya que está dentro de los caminos municipales de Tarija, actualmente está asfaltado hasta el cruce de Sella Cercado y Sella Quebradas por lo que se dará continuidad del asfaltado con el diseño Ingenieril del proyecto. El diseño del camino vecinal estará en base a normas establecidas por la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

1.2.1.- IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

La Identificación del problema se basa por la falta de un diseño geométrico, planificación vial para el asfaltado del camino vecinal y por falta de un buen mantenimiento rutinario que no se tomó en cuenta en esta zona de Sella ,ya que en este tramo se tiene asfalto antes y después del tramo elegido por lo cual se está realizando el diseño geométrico del camino vecinal, el cálculo del paquete estructural y diseño del pavimento flexible del camino vecinal de Sella Cercado a Sella Méndez y por tratarse de una ruta que pertenece a la Red Municipal de Tarija de características importantes a las zonas aledañas a la cual concurren flujos vehiculares de gran importancia para el turismo, agricultura, beneficio del lugar y de las comunidades colindantes.

El proyecto de Diseño Geométrico del Camino Vecinal Sella Cercado a Sella Méndez, se encuentra ubicado a 22+333 Km. de la ciudad de Tarija, en la comunidad de Sella Cercado hacia el lado Nor-Este de la ciudad de Tarija y el camino municipal cuenta con una distancia de 2+420 Km.

1.2.2.-PROBLEMA

Las principales causas, de manera general, que originan este problema son las siguientes.

- La falta de políticas municipales, que atiendan las necesidades de las comunidades alejadas como ser la comunidad de Sella Cercado.
- No existe en la actualidad un camino que tenga las condiciones óptimas de circulación de peatones y de tráfico vehicular privado o público.
- En época de lluvias el camino es intransitable por la falta de obras de arte menores que evacuen las aguas de las precipitaciones pluviales en la capa de rodadura del camino existente especialmente en el acceso a la Unidad Educativa de Sella Cercado.
- El crecimiento poblacional de la zona de estudio, que se encuentra en pleno desarrollo con la construcción de viviendas.

1.3.-OBJETIVO

Elaborar el pavimento flexible del tramo Sella Cercado a Sella Méndez.

1.3.1.- OBJETIVO GENERAL:

Realizar un diseño geométrico, con pavimento flexible del tramo Sella Cercado a Sella Méndez de la red municipal que brinde un acceso confortable al conductor y a los habitantes de la zona en estudio que es de interés social, turístico, agrícola y sobre todo de integración de las comunidades aledañas.

1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar un levantamiento topográfico del tramo Sella Cercado a Sella Méndez.
- Realizar un estudio de suelos para el diseño del pavimento flexible.
- Elaborar un estudio de drenaje del camino para así proponer el número de obras de arte tomando en cuenta los datos hidrológicos del SENAMHI.

- Realizar un diseño geométrico del camino Sella Cercado a Sella Méndez, aplicando las normas de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).
- Diseñar el pavimento flexible.
- Elaborar el presupuesto general del Proyecto.

1.4.-ALCANCE DEL TRABAJO

En el presente trabajo se estudiarán las características y propiedades de las capas sub-base, base y capa de rodadura que son los componentes de la estructura de los pavimentos flexibles.

La capa de pavimento flexible es la más importante porque es la que recibe directamente las cargas y sollicitaciones de los vehículos además es la de mayor costo económico, existen distintos tipos y su aplicación está en función al tráfico de la carretera. Además se pretende estudiar el método AASHTO de diseño de pavimentos flexibles.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA
DEL PROYECTO

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO-PARAMETROS DE DISEÑO

2.1 TOPOGRAFÍA DEL TRAMO SELLA CERCADO A SELLA MENDEZ

Se realizó el levantamiento topográfico a detalle de todo el tramo del camino municipal de Sella Cercado a Sella Méndez, identificando puntos clave, cuya información es indispensable para el posterior diseño geométrico.

La topografía del proyecto, fue planificada y realizada considerando los siguientes aspectos importantes:

Se tomo como referencia de partida el punto de control **GPS TAR-11** ubicado en la zona de **MONTE SUD** ubicado en la parte más alta de la zona, se encuentra el bulón empotrado con una identificación de **IGM-HAM. TJA. NO TOCAR 1999**, y el punto de control **GPS TAR-10** ubicado en el Barrio 1° de mayo, **ZONA DE LOURDES** a un costado de la cancha polifuncional se encuentra el bulón empotrado en la plataforma de hormigón de la cancha con una identificación **IGM-HAM. TJA. NO TOCAR 1999** (ver Anexos).

Identificamos como progresiva 0+00 Km lado Norte del camino municipal de acceso a la comunidad de Sella Cercado, y la progresiva 2+00 Km el puente vehicular de acceso a la comunidad de Sella Méndez.

Los trabajos se realizaron de la siguiente forma:

- Trabajo de Campo
- Trabajo de gabinete

Mediante el levantamiento topográfico y el recorrido del tramo en estudio se pudieron identificar los puntos donde se ubicaran las diferentes obras de arte.

2.1.1 TRABAJO DE CAMPO

Los trabajos de campo se realizaron con la conformación de una brigada topográfica; integrada por mi persona y dos alarifes.

La tarea preliminar consistió en el reconocimiento del terreno con el objetivo de señalar los criterios para realizar el estudio topográfico.

Se realizó el levantamiento topográfico consistente en una planimetría de la zona, donde se muestran el eje del camino municipal, el eje de las obras de arte necesarias.

a).-Precisión del Instrumento utilizado.-

El instrumento utilizado fue una estación total **SOKKIA SET 510**, la cual tiene las siguientes especificaciones:

- SET 510 5”(1.5 mgon/0.02 mil)
- Tiempo de medición menos de 0.5 segundos.
- Prisma con medición precisa $\pm (2+2 \text{ ppm} \times D)$ mm.
- Un margen de error de acuerdo a la distancia de disparo de ± 0.5 cm (en distancias > 3 Km.)
- Apreciación de 5 segundos en ángulos Horizontales y Verticales.
- Memoria interna de 10.000 puntos.
- Nivel Circular $10'/2$ mm.
- Iluminación del retículo 5 niveles de luminosidad.

b).-Levantamiento preliminar.-

Este levantamiento tuvo el objetivo de proporcionarnos todo los datos necesarios para la confección del plano de planta, perfil longitudinal y perfiles transversales para trazar el eje definitivo del camino municipal, calcular el movimiento de tierras, emplazamiento de las obras de arte menores, etc.

Se levantó una poligonal preliminar dentro de la zona de estudio, se establecieron BMs para tenerlos como puntos de partida y control en el levantamiento a detalle, con equipo Estación Total SOKKIA SET 510, teniendo como objetivo la obtención de datos para la planimetría de la poligonal, la nivelación de la misma y las transversales que nos permitan la representación de curvas de nivel del derecho de vía del camino municipal.

c).- Levantamiento Topográfico- Metodología

Se hizo la lectura inicial del punto de control GPS TAR-11, para obtener las coordenadas y cotas reales del levantamiento topográfico, el cual se constituyen de vital importancia debido a que los mismos nos dan una rejilla de coordenadas planas **UTM** (Datum WGS - 84). Las mencionadas coordenadas en este caso, se convierten en coordenadas reales (no asumidas) que son utilizadas en cartas Cartográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar).

Una vez orientado la Estación Total con los puntos **TAR-10, TAR-11** mencionados, se procede a la medición (disparos a prismas) de distintos puntos relevantes o de importancia topográfica.



Figura N° 1 Equipo GPS Estático de Doble Frecuencia



Figura N° 2 Bulón de Aluminio

Siendo el Operador de la Estación Total, me estacioné en un lugar estratégico donde tenga una visual adecuada para observar la mayor cantidad de puntos en la franja del levantamiento topográfico. Los operadores de Prismas, posicionan su Jalón en la mayor cantidad de puntos representativos de la topografía a levantar. De esta manera los puntos donde se estaciona el Equipo se convierten en los vértices de la Poligonal Base que son debidamente monumentados con mojoneros de cemento, referenciados y pintados en partes visibles del camino municipal colocando la nomenclatura sobre el mismo mojón el nombre del punto para su posterior localización. Se realizó la nivelación directa ida y vuelta de todos los vértices de las poligonales de ambos tramos para que estos puedan servir de Bancos de Nivel, ya que se encuentran no muy distantes y en ubicaciones estratégicas para realizar un replanteo del eje del camino municipal.

El levantamiento se realizó con el ancho de 12 m. del camino con 10 m a cada lado de un eje tentativo del trabajo topográfico, para obtener las secciones transversales densificando el área interna con nube de puntos que representen de la mejor manera la superficie del área de estudio.

Paralelamente al trabajo digital de los Equipos, se elaboran diagramas y croquis a mano alzada de los sectores levantados, para su posterior interpretación y mejor elaboración de la modelación del terreno.

2.1.2 TRABAJO DE GABINETE

Concluido el Trabajo de Campo se procede a la modelación del terreno levantado en forma digital en una computadora, para esto, existe una variedad de Software se utilizo el programa **MDT-4** (MDT-4 Modelo Digital de Terreno Versión 4) para la modelación hasta reproducir las curvas de Nivel del terreno y modelar la superficie del campo virtualmente en el Ordenador. El primer paso es bajar los datos de la Estación Total al Ordenador en forma de Coordenadas Cartesianas (X, Y, Z – Este, Norte, Altura); cada punto en el espacio servirá como dato para que la PC pueda modelar la superficie virtual, con los datos de cada punto (borde de camino, casa, lecho de Rio, lecho quebrada, etc.), construyendo un plano topográfico con las curvas de Nivel que las genera el programa como los detalles particulares de la zona de Sella Cercado y Sella Méndez.

La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la Estación Total creados en varios trabajos (JOB'S), deben ser ordenados y clasificados en Excel para la correcta modelación.

Una vez clasificada la información y modelada la superficie el trabajo se encuentra listo para ser usado con fines de Diseño Geométrico.

2.1.3 DATOS TOPOGRÁFICOS

Las planillas topográficas se encuentran en el anexo de planos correspondiente y sobre los cuales se ha trabajado el diseño geométrico, como resultado del trabajo de campo se obtiene en gabinete los planos de:

- Plano de planta con eje
- Plano de Perfil longitudinal
- Plano de transversales

El perfil longitudinal preliminar da aproximadamente el relieve del terreno por donde debe pasar el eje. Este plano se realizó a escala sobre alzada destacando así las irregularidades del terreno siendo la escala horizontal 1:1000 y la vertical 1:100.

Las secciones transversales servirán finalmente para el cálculo del movimiento de tierras, en base a la sección adoptada.

2.2 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de un camino municipal, estableciendo, con base en los condicionantes o factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto tridimensional que supone, para satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, es decir, la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración en su entorno, la armonía o estética, la economía y además debe prever posibles ampliaciones en el futuro.

a) Alineamiento Horizontal del Proyecto y trazado definitivo

Elaborado el plano topográfico completo se trazó la línea preliminar, después se ha proyectado la línea definitiva del camino municipal. Para la determinación de una línea preliminar se selecciono una pendiente menor a la máxima especificada, para que la línea final se ajuste a las condiciones que se esperan.

En base al levantamiento topográfico del sitio del proyecto y del trazo actual del camino municipal, se ha planteado un alineamiento horizontal definitivo en función de la conformación del terreno y las viviendas existentes.

Se procedió al replanteo del eje, estaqueando cada 20 metros en rectas y 10 metros en curvas, se fueron colocando puntos de referencia o BMs, de tal modo que permita la reposición de los mismos con toda seguridad en la etapa de la construcción.

Concluido el trazado de las tangentes, estas se enlazaron con curvas horizontales circulares de acuerdo a las posibilidades de la topografía del terreno.

La nivelación de ida y vuelta del eje representado en un perfil longitudinal del terreno, se considero como dato de partida el Banco de Nivel BM- 01 ubicado en la progresiva 0+00 y a partir de este punto se fueron colocando puntos de referencia o BMs cada 250 metros los cuales están identificados en los planos y pintados en obra.

Se nivelaron todas las estacas que definen el perfil longitudinal del eje sobre el terreno y se procedió a levantar los perfiles transversales en las estacas ubicadas cada 10 metros, en las mismas se contemplaron todos los detalles requeridos para conseguir los datos que permitan obtener los volúmenes de obra.

Los cálculos del alineamiento horizontal desde sus coordenadas, su enlace con curvas horizontales, sus elementos de estas, la sobre elevación en las curvas horizontales fueron tabulados y se encuentran especificadas en anexos.

b) Factores que influyen en el diseño geométrico.

Para la realización del diseño geométrico de un camino municipal, en primer lugar se debe tener bien claro que elementos intervienen en este, los cuales principalmente se dividen de la siguiente manera, operativos, físicos, ambientales y económicos. En los operativos se encuentran agrupadas las características del tránsito y las velocidades, en el grupo de los físicos está todo lo que se refiere a las características del terreno, tales como topografía geología, entre otras, en los factores ambientales esta todo lo relacionado con el impacto que el diseño ocasiona en el medioambiente y finalmente lo económico, que engloba todo los costos tanto de construcción, mantenimiento y operación.

2.2.1 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA ABC

A continuación se pretende dar los conceptos básicos, según el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la ABC, de los factores más importantes que influyen en el diseño geométrico de una carretera.

a) Tránsito y sus características.

Es primordial tener conocimiento del volumen de tránsito que hará uso de un camino municipal para poder definir algunos factores del diseño geométrico. Los términos más comúnmente utilizados, según lo que indica el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la ABC, son:

- Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).
- Tránsito Medio Diario Mensual, Semana, etc.
- Volumen Horario.
- Volumen Horario De Diseño.
- Sentido de circulación.
- Composición del tránsito.

b) Ingeniería de Tráfico

Se realizan estudios de volumen de tráfico para recolectar datos del número de vehículos y/o peatones que pasan por un punto de una vía durante un periodo específico de tiempo.

c) Volumen de Tráfico

Se define como volumen de tráfico a la cantidad de vehículos que circulan en una vía en un periodo de tiempo determinado que normalmente se toma 1hr, 1 día dando origen a un nuevo concepto de tráfico promedio diario y trafico promedio horario respectivamente

- a) Transito promedio anual (TPDA)
- b) Transito Promedio Diario (TPD)
- c) Transito Promedio Horario (TPH)
- d) Volumen horario
- e) Volumen directriz

d) Transito promedio anual (TPDA)

Es el promedio de los conteos de 24 horas recolectados todos los días del año. Los TPDA se usan en varios análisis y de transporte para.

- 1).- La estimación del ingreso, debida a los usuarios de las carreteras de peaje.
- 2).-El cálculo de las tasas de accidentes en términos de accidentes por millones de millas-vehículo.

- 3).- Establecimiento de las tendencias de volumen de tránsito.
- 4).- Evaluación de la factibilidad económica de los proyectos de carreteras.
- 5).- Desarrollo de autopistas y de sistemas de calles arteriales principales.
- 6).- Desarrollo de los programas de mejora y mantenimiento.

e) Tránsito Promedio Diario (TPD)

Es el promedio de los conteos de 24 horas recolectados, en un número de días mayor que 1, pero menor que un año. Los TPD se usan para:

- 1) .-La clasificación funcional de las carreteras.
- 2) .-El diseño de las características de una carretera, por ejemplo, número de carriles, señalización de las intersecciones o canalización.
- 3) .-Los análisis de capacidad.
- 4) .-El desarrollo de programas relacionados con las operaciones de tránsito por ejemplo, sistemas de calles de un solo sentido de las rutas.
- 5) .-Regulación del desarrollo de estacionamientos.

f) Tránsito Promedio Horario (TPH)

Los volúmenes horarios a diferencia de los volúmenes diarios dentro de los estudios de ingeniería de tráfico son más significativos porque nos muestran las características de circulación en cuanto al número de vehículos en cada hora correspondiente a un día y en todo el transcurso de un año eso permite trabajar estadísticamente y formar polígonos de frecuencia, histogramas, determinar horas pico, determinar variaciones horarias, etc.

Si bien es más importante tener información del tráfico horario, también es cierto que resulta más costoso obtener esta información debiendo tenerse mayor personal, mayores puntos de aforo y por lo tanto un mayor costo.

Cuando no es posible tener información sobre el Tránsito Promedio Horario se puede utilizar la relación establecida por la AASTHO y por la AIPCR organismos que han estudiado el efecto del volumen del tráfico quienes establecen la Sgte. Relación:

$$\boxed{\text{TPH} = (12\% - 15\%) \text{TPD}}$$

g) Volumen horario

Son los que resultan de dividir el número de vehículos que pasan por un periodo de tiempo, entre el valor de ese periodo de tiempo en horas. De un registro anual de volúmenes horarios, se puede calcular el promedio de dichos vehículos dando lugar al llamado Tránsito Promedio Horario (TPH)

El TPH es un valor que representa el comportamiento horario de los volúmenes de tráfico, sin embargo los valores del TPH que serian los que se utilicen para diseño no siempre tienen equilibrio con las condiciones físicas y económicas de la vía. Por ello para fines de diseño se utiliza otro valor denominado Volumen Directriz.

h) Volumen directriz.

Es un concepto definido exclusivamente para obtener un valor que represente, el 80 % o más del tiempo durante un día la cantidad de vehículos que circula por una vía no exceda el valor máximo. Para ello se ha definido que el volumen directriz numéricamente se obtenga de un ordenamiento descendente del TPH máximo correspondientes a los 365 días de un año denominado el valor "trigésimo". Para algunos proyectos de menor envergadura también se han utilizado de ese mismo ordenamiento el valor 50 o el valor 80 como volúmenes directrices.

Es muy probable que en algunas vías de ciudades no se tengan aforos de volúmenes horarios, por ello se ha establecido una relación entre el volumen diario y el volumen horario en carreteras, vías urbanas donde se realizaban ambas mediciones obteniéndose un valor racional esta para el TPH entre el 12 al 15% del TPD.

i) Estaciones de Aforo

Una vez definidas las magnitudes y fundamentos teóricos del tráfico, se hace indispensable recabar información acerca de las características de la circulación de los vehículos en las vías existentes. Para ello se emplean métodos de aforo que serán más o menos precisos dependiendo del grado de exactitud que pretenda obtenerse.

Las características que son objeto de un estudio de aforo son:

- Intensidades de circulación
- Velocidades y tiempo de recorrido de los vehículos.
- Origen, destino y objeto de los viajes realizados.
- Accidentes de circulación.

j) Velocidad

En general, el término *velocidad* se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros por hora.

k) Tipos de velocidad

En este mismo concepto existen diferentes tipos de velocidades entre las cuales las más importantes son:

- Velocidad de punto
- Velocidad de recorrido total
- Velocidad de crucero
- Velocidad directriz o de diseño
- Velocidad de circulación media

l) Velocidad de Punto

La velocidad de punto es aquella velocidad que se mide a la circulación vehicular considerando a la misma como flujo libre, es decir, que no se tengan restricciones en el movimiento por vehículos que van adelante, por vehículos que van por atrás, por cruce de

peatones, etc. La velocidad de punto no es una velocidad de diseño ni en calles ni en carreteras, pero es una velocidad cuya referencia nos da las velocidades máximas posibles que se puedan presentar tanto en calles como en carreteras.

Al ser una velocidad que se considere en flujo libre eso no sería posible en espacios o distancias largas por ello que para su estudio se definen espacios o distancias pequeñas, en el caso de ciudades los espacios serán de 25, 50 o 100 metros y en el caso de carreteras los espacios serán de 100, 200 o 500 metros siempre y cuando no hayan accesos de entrada y de salida.

La relación que nos permite determinar la velocidad de punto es la siguiente.

$$\boxed{VP} = \frac{d}{t}$$

Donde:

VP = velocidad de punto

d = distancia de recorrido

t = tiempo de recorrido

m) Métodos de Medición de Velocidades

Para medir la velocidad de punto se pueden utilizar varios métodos en los que se tiene:

- Método del cronometro (manual)
- Método del enoscopio
- Método del radar métrico

El método del cronómetro (manual) es aquel que utiliza generalmente dos operadores, uno a la entrada provisto de algún dispositivo para dar la señal en el momento que el vehículo ingresa a la línea de entrada para que el segundo operador ubicado en la línea de parada final pueda accionar el cronometro y detener el mismo en el momento que cruza la línea de salida.

Este método es el más utilizado por la facilidad de su realización y por la necesidad solamente de un cronometro. Es factible utilizando las distancias mínimas que este método pueda ser ejecutado por un solo operador y que tenga visualidad suficiente a la línea de entrada y salida.

El método del enoscopio se utiliza además del cronometro un aparato simple denominado enoscopio que es una caja de lados iguales en uno de sus vértices tiene un espejo ubicado a 45° de tal forma que la visual de entrada se refleja en forma ortogonal a 90° la forma de medición utilizando el enoscopio en el momento en que el vehículo cruza la línea de entrada para accionar el cronometro y medir el tiempo hasta que el vehículo cruza la línea de salida. Este método es muy útil para la realización de mediciones nocturnas.

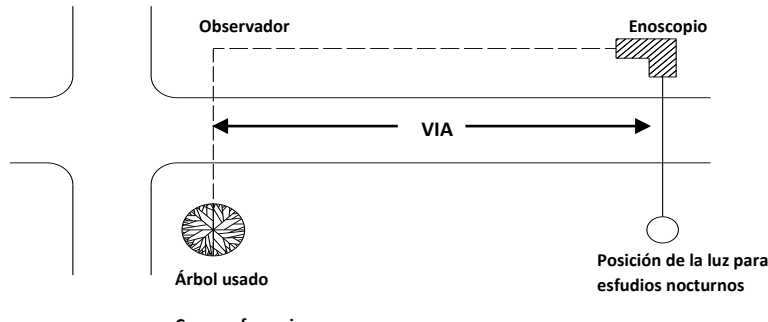


FIGURA N° 3 MÉTODO DEL ENOSCOPIO

Fuente: Ingeniería de Transito de Rafael Cal y Mayor

El método del radar métrico es el método menos utilizado pero mucho más preciso para cuya determinación de velocidades utiliza un transmisor incorporado en un vehículo que emite ondas de longitud media que son captadas por un radar y puedan ser transformadas en distancias de la diferencia de las longitudes emitidas en el momento de ingreso de la línea de entrada y el ingreso a la línea de salida, se obtiene la distancia y el tiempo de recorrido determinándose así la velocidad de punto. Estas velocidades de punto en un estudio de tráfico deben ser llevadas a cabo en tres horarios diferentes de cada día, recomendable en horas pico, tres diferentes días de la semana, si se lo va a hacer anualmente tres diferentes meses del año. En la hora de estudio se determinara una metodología homogénea para la obtención de velocidades de vehículos en circulación, por ejemplo hacer la medición

respectiva a cada cinco vehículos que ingresan a la zona de estudio. Se utiliza seis horas diferentes del día.

n) Velocidad de Recorrido Total

Desde el punto de vista conceptual la velocidad de recorrido total es aquella velocidad que se asemeja más al comportamiento real del vehículo en circulación, si bien también es una relación de espacio sobre tiempo para el caso de velocidades de recorrido total el espacio que se toma en cuenta debe ser más grande debido a que se quiere reflejar todas las restricciones a las maniobras de velocidad y todas las causas de demora que pudiesen presentarse, para ello se requiere de una distancia relativamente grande. En el caso de ciudades urbanas estas distancias de recorrido total son elegidas en función de la dirección de los flujos direccionales más importantes; en carreteras se toman tramos experimentales que reflejen el comportamiento real de la carretera.

La velocidad de recorrido total es la relación entre la distancia de recorrido total sobre el tiempo de circulación mas el tiempo de demoras.

El tiempo que se tarda en recorrer la distancia de recorrido total tiene dos componentes que son:

- El tiempo que se tarda en circulación propiamente dicho
- El tiempo de demoras donde el vehículo no está en movimiento

Este tiempo de demoras puede tener como causas, detención de vehículos, cruce de peatones, semáforos, estacionamientos, etc.

$$VR = \frac{dr}{(tc + td)}$$

Donde:

VR = velocidad de recorrido total (Km. /hr)

tc = tiempo de circulación (hr)

td = tiempo de demoras (hr)

dr = distancia de recorrido total (km)

o) Velocidad de Crucero

La velocidad de crucero es una velocidad que se determina analíticamente en base a la relación de una distancia recorrida entre un tiempo neto de circulación. El mismo estudio de las velocidades de recorrido total puede servir de información para determinar las velocidades de crucero tomando en cuenta sólo los tiempos de circulación y no así los tiempos de demora.

Esta velocidad de crucero nos permite hacer una comparación y análisis con las velocidades de punto ya que ambos tienen la misma concepción, son velocidades de vehículos en movimiento, su diferencia está que el uno tiene un entorno de flujo libre y el otro tiene un entorno de vehículos en un flujo de circulación.

El análisis nos permitirá determinar las pérdidas de velocidad en diferentes puntos de estudio que sufre la velocidad de recorrido por efecto del entorno en movimiento.

La relación que nos permite determinar la velocidad de crucero es la siguiente.

$$\boxed{VC} = \frac{dr}{tc}$$

Donde:

VC = velocidad de crucero

dr = distancia de recorrido total

tc = tiempo de circulación

2.2.1.1 VELOCIDAD DE DISEÑO

La velocidad de diseño es un valor muy importante tanto en carreteras como en caminos municipales, la velocidad de diseño no es resultado de un aforamiento más bien es de concepto que indica que la velocidad de diseño debe ser aquella con la cual el 80% o más de los vehículos que circulan deben tener esa velocidad.

La velocidad de diseño es un valor adoptado tanto en carreteras como en caminos. En el caso de carreteras existen tablas de velocidades de diseño recomendables en función al tipo de carretera, por lo tanto carreteras cuyas condiciones físicas sean más exigentes tendrán una velocidad de diseño mayor y carreteras de condiciones físicas menores tendrán velocidades de diseño menor.

Tipo de carretera	Tipo de terreno	Velocidad de diseño Vd (km/h)											
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
Carretera principal de dos calzadas	Plano												
	Ondulado												
	Montañoso												
Carretera principal de una calzada	Plano												
	Ondulado												
	Montañoso												
Carretera secundaria	Plano												
	Ondulado												
	Montañoso												
Carretera terciaria	Plano												
	Ondulado												
	Montañoso												
	Escarpado												

Tabla 2.1. Velocidades de diseño según tipo de carreteras y terreno

En el caso de vías urbanas no está tan ligada la velocidad de diseño a las características geométricas y físicas de las calles ya que estas están más relacionadas con conceptos arquitectónicos. En las ciudades la velocidad de diseño se adopta en función de los valores de la velocidad de circulación media que son producto de promedios de las velocidades de punto en diferentes arterias de la ciudad.

a) Velocidad de Circulación Media

Es la velocidad que se determina a partir de las velocidades de punto registradas en varios puntos de la ciudad y determinando sus valores medios. De estos valores se puede adoptar ya sea el valor máximo, el valor medio o un valor mínimo como valores de velocidad de diseño de acuerdo a las características propias de cada estudio de cada proyecto.

Método a utilizar para los Aforos

Por ser el método más *viable* y con poco margen de error se empleó el método del *cronometro (manual)* para el cálculo de la velocidad de punto. Realizadas varias pruebas se llegó a establecer que se obtienen valores similares de mediciones reiteradas, de un vehículo que transita a una velocidad determinada y constante por todo el tramo de aforo, teniendo un parámetro del método empleado.

Se debe prever que la distancia a tomar en el tramo recto sea considerablemente mayor al tramo de medición para poder obtener una velocidad constante en todo el recorrido.

b) Estaciones de Aforo del Proyecto

Los puntos de aforo deben estar ubicados de tal manera que le permita al vehículo la capacidad de desarrollar una velocidad representativa al tramo que circula, esto quiere decir que el alineamiento tanto vertical como horizontal deben tener pocas variaciones, no deben haber congestiones de tráfico ni arterias accesorias que impidan el normal desenvolvimiento de la velocidad en ese tramo de medición para una velocidad constante en todo el recorrido.

2.2.1.1.1.-Vehículos para el diseño.

Las características y aspectos que son precisos conocer de los vehículos para el diseño geométrico, según el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC, son:

- Ancho del vehículo.
- Distancia entre ejes.
- Longitud total del vehículo.
- Relación potencia peso.
- Altura del vehículo.
- Velocidad máxima que desarrolla.

Para definir el vehículo tipo que se utilizará en el diseño, se debe identificar el más representativo de todos los vehículos que circulan y circulará por la vía y se debe tener toda seguridad de que los demás vehículos exijan mejores condiciones que este, no se vean

afectados significativamente. Para lograr esto se hace necesario realizar una investigación del tránsito y basarse también en estudios existentes.

En la tabla 2.2 se muestran los datos principales de los vehículos tipo recomendados por el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC para el diseño geométrico de carreteras.

CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO	AUTOMÓVILES (VP)	CAMIONES Y OMNIBUSES CONVENCIONALES (CO)	OMNIBUSES INTERURBANOS (O)	CAMIÓN SEMIRREMOLQUE (SR)
Ancho total	2,1	2,6	2,6	2,6
Largo total	5,8	9,1	12,2	16,8
Radio mínimo de la rueda externa delantera	7,3	12,8	12,8	13,7
Radio mínimo de la rueda interna trasera	4,7	8,7	7,1	6

Tabla 2.2. Datos básicos de los vehículos tipo

2.2.1.1.2 Características de una carretera y camino municipal

Las características geométricas que poseerá un tramo de carretera, son el resultado de una adecuada ponderación y evaluación de los factores que intervienen en el diseño, los cuales ya se tocaron en los puntos anteriores.

Es de muy importante tener presente las siguientes recomendaciones, que nos hace el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC al momento de realizar el diseño de una carretera; realizar un estudio de la demanda actual y futura de tránsito, definir el tipo de servicio que brindará la carretera al usuario, realizar un trazado que armonice con el paisaje de la zona, obtener el valor de la velocidad de diseño a partir de un análisis económico que se ajuste a la envergadura del proyecto.

Las categorías de diseño definidas en el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC para el trazado de carreteras rurales se muestran en la tabla 2.3.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	CARACTERÍSTICAS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	VELOCIDADES DIRECTRICES (KM/H)
0	Doble calzada Dos o más carriles de dirección control total de acceso	TMDA mayor de 15000 VHD correspondiente a nivel de servicio C Función de total prioridad: movilidad	120 - 80
I.A	Doble calzada Dos o más carriles de dirección control parcial de acceso	TMDA mayor de 5000 VHD correspondiente a nivel de servicio C Función más importante movilidad	120 - 70
I.B	Calzada simple Dos carriles control parcial de acceso	TMDA mayor de 1500 VHD correspondiente a nivel de servicio igual o superior al C o D	120 - 70
II	Calzada simple Dos carriles	TMDA mayor de 700	100 - 50
III	Calzada simple Dos carriles	TMDA mayor de 300	80 - 40
IV	Calzada simple Dos carriles	TMDA mayor de 200	80 - 30

Tabla 2.3. Categorías de diseño para nuevo trazado de carreteras en áreas rurales

2.2.1.2 Grado de Curvatura Mínimo

Se denomina grado de curvatura al ángulo en el centro correspondiente a un desarrollo de arco de 20 m. y su relación con el radio de la curva es:

GRADOS DE CURVATURA MÁXIMOS RECOMENDADOS

	TOPOGRAFÍA
--	------------

TIPO DE CAMINO	Plana o con poco lomerio	Con lomerio fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa, pero muy escarpada
Tipo especial	Requiere estudio especial			
Tipo A	8 °	11°	16°30	26°
Tipo B	11°	16°30	26°	35°
Tipo C	16°30	26°	47°	67°

Tabla 2.4. Grados de Curvatura máximos recomendados

Para poder determinar el radio mínimo es necesario hacer una comparación por un lado los criterios que propone la AASHTO y a su vez la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.

Según la AASHTO tomando como grado máximo de curvatura propone la ecuación:

$$G = \frac{1146}{R}$$

Radio mínimo 24 metros.

Según la Administradora Boliviana de Carreteras ABC tomando como variables la velocidad de diseño, el peralte máximo y la fricción entre neumático y pavimento plantean la ecuación:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f)}$$

Radio mínimo 27 metros

En consecuencia tomamos como Radio mínimo la media de ambos y establecemos que:

Radio mínimo 25 metros.

2.2.1.3 SOBRECANCHO

El objeto del sobreancho en la curva horizontal es el de posibilitar el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad, es necesario introducir los sobreanchos por las siguientes razones:

El vehículo al describir la curva, ocupa un ancho mayor ya que generalmente las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras, además el extremo lateral delantero, describe una trayectoria exterior a la del Vehículo.

En base a investigaciones la AASTHO recomienda la siguiente relación para determinar el sobreancho:

$$x = \left[R - \sqrt{R^2 - L^2} \right] N + \frac{0.10 \times V}{\sqrt{R}}$$

Donde:

X = Ampliación

R = Radio (m)

L = Longitud del vehículo tipo (m)

N = Numero de carriles de carretera

V = Velocidad del proyecto (Km/h)

Las curvas horizontales se amplían en una cantidad constante desde el PC hasta el PT y después disminuye hasta los extremos de las transiciones

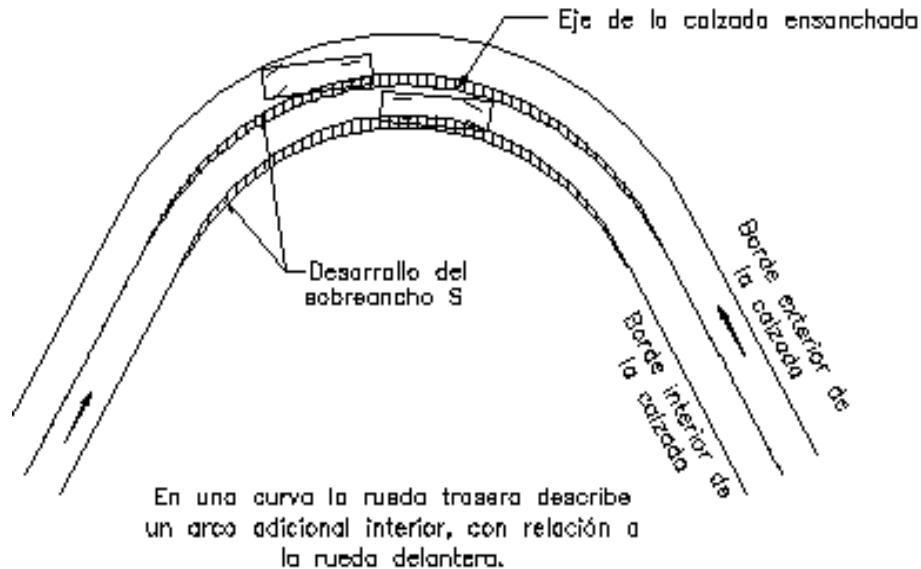


FIGURA N° 4 SOBREAÑO

Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril debido a la menor facilidad para apreciar la posición relativa de su vehículo dentro de la curva. Esta dificultad aumenta con la velocidad, pero disminuye a medida que los radios de la curva son mayores. Para el caso si el vehículo describe una curva, marchando a muy pequeña Velocidad, el sobreebancho se podría calcular geoméricamente, ya que su eje posterior es radial. Lo mismo ocurrirá cuando describiera una curva peraltada a una velocidad tal, de manera que la fuerza centrífuga fuera contrarrestada completamente por la acción del peralte.

En cambio si la velocidad fuera menor o mayor que la anterior, las ruedas traseras se moverían a lo largo de una trayectoria más cerrada o más abierta, respectivamente. Para el cálculo práctico del sobreebancho, no se ha tenido en cuenta esta circunstancia, muy variable según las características de los vehículos y la velocidad que desarrollan.

2.2.1.4 PERALTE

Al pasar un vehículo de una tangente a un alineamiento curvo, al recorrer aparece la fuerza centrífuga que debe ser contrarrestada con el peralte que es "la inclinación de la calzada de la carretera que contrarresta los peligros de deslizamiento transversal y vuelco del vehículo".

VALORES MÁXIMOS DEL PERALTE

CONDICIÓN	(%)
Cuando no se forma hielo sobre la vía.....	12
Valor mas aconsejable en cualquier caso.....	10
En regiones de frecuentes nevadas.....	8
Para volúmenes de tráfico elevado y en áreas urbanas....	6

Tabla 2.5. Valores Máximos del Peralte

La elección del peralte transversal adecuado para una vía urbana debe obedecer a criterios en los que se tenga un equilibrio entre el radio de curvatura, el peralte y el coeficiente de fricción. Las normas AASTHO establecen peraltes máximos recomendables para diversos tipos de camino. En el presente proyecto se adoptó como peralte máximo de 12,5 %.

2.2.1.5-CURVAS HORIZONTALES

Tomando en consideración las normas de diseño, se ha considerado un radio de curvatura de 27 m, por tratarse de los accesos a un puente vehicular que comunica a la comunidad de Sella Méndez.

A partir de estos factores y tomando la relación que equilibra los factores de radio de curvatura y peralte en curvas horizontales igual a:

$$P = \frac{V^2}{2,26 * R}$$

Donde:

R = radio de curvatura

V = velocidad directriz

P = peralte

La velocidad directriz que ha sido considerado para el diseño geométrico del trazo es de 40 Km. /h debido a que el tramo se encuentra en una zona donde el tráfico es considerado como zona comunal y no deben transitar con alta velocidad. En el proyecto se utilizaron curvas

circulares porque las características del alineamiento no permitirán el diseño de curvas de transición adecuadas.

Los elementos de una curva circular simple se muestran en la *figura 5* y son:

- Tangente: $T = R * \tan \frac{\Delta}{2}$ *Ec. 2.1.*
- Externa: $E = R * \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right)$ *Ec. 2.2.*
- Flecha: $f = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right)$ *Ec. 2.3.*
- Desarrollo de la curva: $D = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$ *Ec. 2.4.*
- Longitud de la curva: $L_C = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2}$ *Ec. 2.5.*

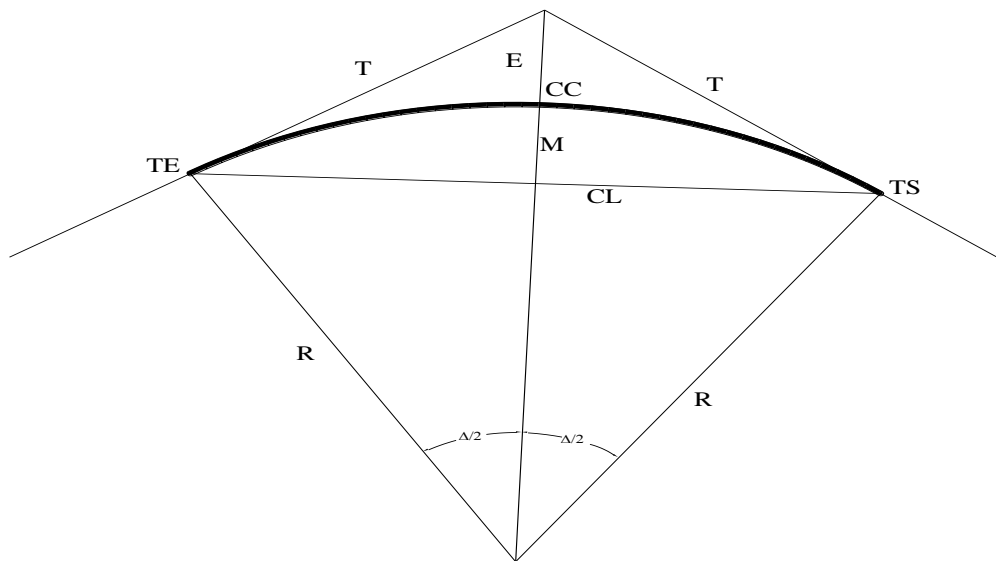


Figura N° 5 Curva circular simple.

Es importante que en el diseño cada curva circular simple esté determinada por todos sus elementos, los cuales proporcionarán información suficiente para el replanteo.

El replanteo de este tipo de curvas consiste en trazar una curva horizontal en el terreno a partir del diseño que está en el plano, es decir encontrar todos los puntos necesarios para conformar la curva circular simple.

2.2.3.-PENDIENTE LONGUITUDINAL

La pendiente longitudinal generalmente es un factor de diseño geométrico que esta especificado en concordancia con el resto de los factores, las diferentes normas especifican de alguna manera las pendientes máximas recomendables, en nuestro país de acuerdo a las Normas del Manual de Diseño Geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC se tomó como Pendiente Máxima 4 %, la Pendiente mínima es de 1%.

Al realizar el diseño del alineamiento vertical es necesario definir un límite a la longitud y a la pendiente de la rasante, las cuales se encuentran definidas por la categoría de la carretera y la velocidad de diseños, además del factor económico, ya que si se generan menores pendientes esto se refleja en un aumento en el costo del proyecto.

En concordancia con lo que se dijo anteriormente, en el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC se han establecido ciertos rangos entre los que se puede encontrar la pendiente máxima en función de la categoría de diseño, la siguiente tabla 2.6, extraída del el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC, muestra dichos valores.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	CARACTERÍSTICAS	VELOCIDADES DIRECTRICES (KM/H)	PENDIENTES MÁXIMAS (%)
0	Doble calzada Dos o más carriles de dirección	120 - 80	3 – 5

	control total de acceso		
I.A	Doble calzada Dos o más carriles de dirección control parcial de acceso	120 - 70	3 - 6
I.B	Calzada simple Dos carriles control parcial de acceso	120 - 70	3 - 7
II	Calzada simple Dos carriles	100 - 50	4 - 8
III	Calzada simple Dos carriles	80 - 40	6 - 8
IV	Calzada simple Dos carriles	80 - 30	6 - 10

Tabla 2.6. Pendientes máximas en función de las categorías de diseño

2.2.3.1.-SUBRASANTE

a) Alineamiento Vertical del Proyecto

Obtenido el trazo definitivo, se realizó el estaqueado del eje y se realizó el nivelado de las estacas, obteniéndose de esta manera el perfil longitudinal del eje definitivo cuyas progresivas son cada 20 mt en las tangentes y cada 10 mt en las curvas, tomándose también en cuenta otros puntos relevantes como lo son los PC (principio de curva) y FC (fin de curva).

Sobre este perfil longitudinal deducido se traza la subrasante, para lo cual se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- a).**-Puntos obligados en altimetría (Altura del puente vehicular).
- b).**-Pendiente Máxima especificada.
- c).**- Compensación de volúmenes de corte y relleno.
- d).**- Tratar de mantener la subrasante en suelo firme.

2.2.4 CURVAS VERTICALES

El enlace de las rasantes son a través de curvas parabólicas que por su característica tiene una menor curvatura al inicio , final y una mayor curvatura en la parte central lo cual se acomoda a una mejor circulación de los vehículos.

En cada caso existen relaciones ya definidas que nos permiten determinar las cotas de la rasante en la curva vertical tomando en cuenta su curvatura, dichas relaciones utilizadas son las especificadas por la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.

Las curvas verticales pueden ser simétricas o asimétricas de acuerdo a las necesidades de cada una, principalmente de las restricciones circundantes por el trazo de rasantes, longitud mínima de la curva o traslape con las curvas horizontales.

En cada caso existen relaciones ya determinadas que nos permiten determinar las cotas rasantes en la curva vertical tomando en cuenta su curvatura, dichas relaciones utilizadas son las siguientes:

$$Y = \frac{P * X^2}{2 * L} \quad \text{Curva Simétrica}$$

$$Y1 = m * (X1/L1)^2 \quad \text{Curva Asimétrica}$$
$$Y2 = m * (X2/L2)^2$$

Donde:

P = diferencia algebraica de pendientes

m = ordenada media

L = Longitud de curva vertical

L1 = longitud a la izq. del vértice

L2 = longitud a la der. del vértice

X, X1, X2 distancias de las abscisas a contar de los extremos de la curva.

a) Longitud mínima en curvas verticales

Existen varios criterios para determinar la longitud mínima de curvas verticales como ser:

- Criterios de seguridad
- Criterios de estética
- Criterios de comodidad
- Criterios de visibilidad

Considerando los criterios mencionados y las condiciones del sitio, se adoptaron curvas verticales de 20 m y 40 m de longitud, para garantizar una transición suave al acceso del puente vehicular.

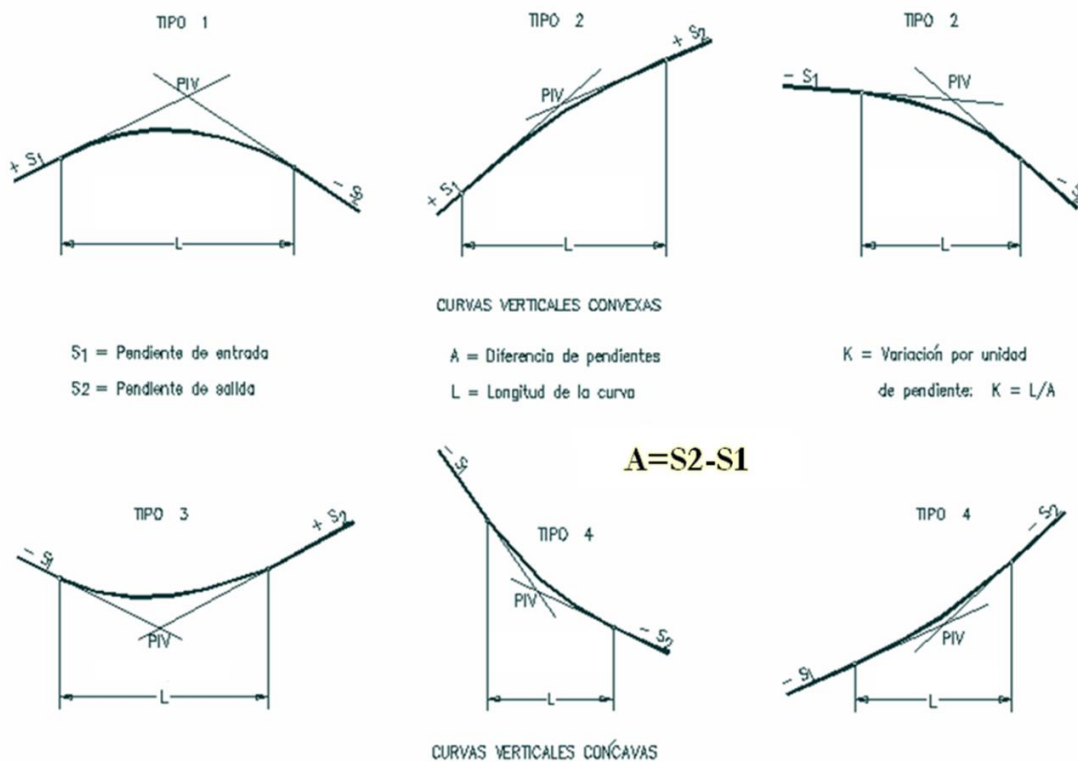


Figura N° 6 Tipos de Curvas Verticales Parabólicas

2.2.5 SECCIÓN TRANSVERSAL

Para establecer la sección transversal se deben tomar en cuenta el número de carriles, que estará en función del volumen de tráfico, los sentidos de la carretera, el ancho de cada carril, cuneta lateral y la inclinación de los taludes de corte y relleno.

En el proyecto se adopto una sección tipo proveniente de las oficinas de la Dirección de Ordenamiento Territorial D.O.T. como parámetros importantes de la sección las siguientes:

Número de Carriles = 2

Número de Sentidos = 2

Ancho de carril = 3.50 m

Pendiente transversal = 2 %

Talud de corte 1: 5 (H/V)

Talud de relleno 1: 1 (H/V)

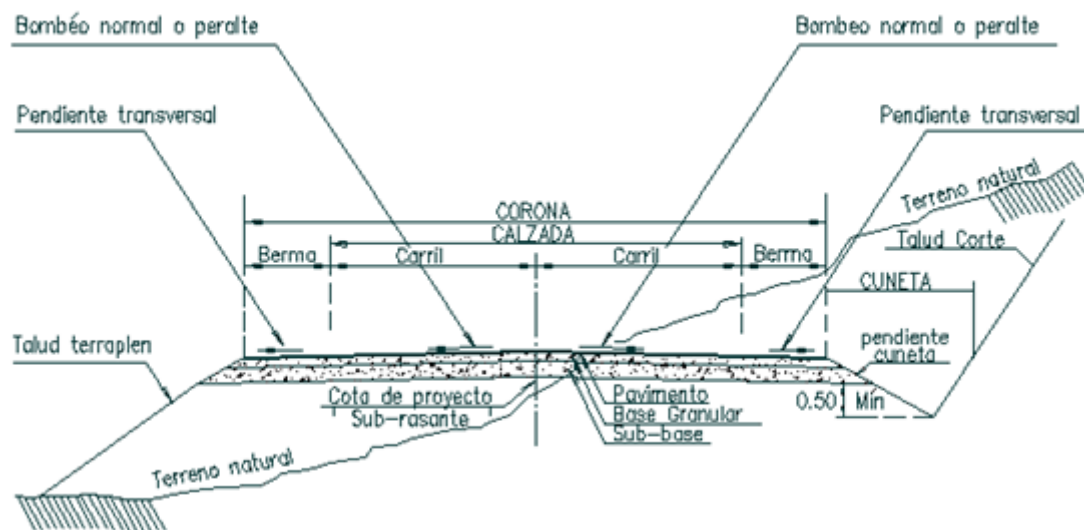


Figura N° 7 Detalle de una sección transversal

2.2.5.1 ANCHO DE LA CALZADA

Antes de definir el ancho se debe establecer la dimensión que tendrá el ancho de zona, el cual se define como la faja de terreno destinada a la construcción de una vía, teniendo en cuenta futuras ampliaciones de la misma si es que la demanda de tránsito así lo exige. El Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC recomiendan los anchos de zona mínimos que se muestran en la tabla 2.7. en función del tipo de carretera a diseñar.

Tipo de carretera	Ancho de zona mínimo (m)
Carretera principal de dos calzadas	Mayor a 30
Carretera principal de una calzada	24 - 30
Carretera secundaria	20 - 24
Carretera terciaria	15 - 20

Tabla 2.7. Anchos de zona mínimos

Antes de pasar a lo que se refiere el ancho del carril es necesario definir un parámetro importante tal como lo es el ancho de la calzada, la cual se define según el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC, como la parte de la corona destinada a la circulación de vehículos y constituida por dos o más carriles. El ancho mínimo para calzadas especificado en el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC se muestra en la tabla 2.8.

Tipo de Carretera	Tipo de Terreno	VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carretera Principal de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30
Carretera Principal de una calzada	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Montañoso	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
Carretera Secundaria	Plano	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	-
	Ondulado	-	7.00	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-	-
	Montañoso	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-	-
Carretera Terciaria	Plano	-	5.00	6.00	6.60	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	5.00	5.00	6.00	6.60	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	5.00	5.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	5.00	5.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 2.8. Anchos de calzada recomendados

Ahora bien, pasamos a definir en lo que es ancho de carril, según el Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC, se entiende por carril a la faja de ancho suficiente

para la circulación de una fila de vehículos. Es obvio que el ancho de carril será la mitad del valor que se obtenga de la calzada.

2.6.- PENDIENTES DE TALUDES

Los taludes de un corte o de un terraplén es la superficie inclinada y generalmente plana que lo limita por un lado, la inclinación del talud depende de la clase de terreno y corresponde, por lo menos, al ángulo de reposo del material en que ha excavado el corte o con el cual se construye el terraplén. Sin embargo, también pueden influir en el diseño del talud otros factores, como la visibilidad, la apariencia de la vía, el préstamo de material, etc. Estos taludes son muy importantes en la seguridad y buena apariencia de una carretera, además de influir en su costo de mantenimiento. Aunque su diseño depende de las condiciones de los suelos y de las características geométricas de la vía, como regla general los taludes deben diseñarse con la menor pendiente económicamente permisible.

2.2.6.1.-TALUD DE RELLENO

De acuerdo a las recomendaciones para este tipo de material se adoptó para el talud de relleno la relación 1: 1

2.2.6.2-TALUD DE CORTE

De acuerdo a las recomendaciones para este tipo de material se adoptó para el talud de relleno la relación 1: 5

2.3 MOVIMIENTO DE TIERRAS

El movimiento de tierras incluye el desmonte, desbroce, excavación de la carretera, excavación para las obras de arte, terraplenes, materiales de préstamos, transporte adicional, nivelación con maquina, escarificación de la nivelación, pedraplenes, reacondicionado de carreteras y todos los trabajos de preparación del cimiento de la explanación para calzada de carreteras, etc.

La cantidad y el costo del movimiento de tierras se calculan en función de los m³ de excavación en situación original, tomando como base las notas de secciones transversales de las medidas de campo.

Los trabajos de explanación modernos se ejecutan con equipos mecánicos que incluye palas excavadoras, tractores de orugas, escarificadoras mototraílla, empujadoras niveladoras, motoniveladoras y camiones.

2.3.1 PENDIENTE TRANSVERSAL

También es conocida como bombeo, tiene la tarea de evitar la acumulación del agua sobre la carretera, se considera un bombeo apropiado al que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, además de brindar al conductor una sensación de comodidad y seguridad.

Para el caso de la pendiente para la calzada, el *Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras ABC* emplear los valores mostrados en la *tabla 2.9.* y para las bermas la pendiente recomendada es la indicada en la *tabla 2.10.*

Tipo de superficie de rodadura		Bombeo (%)
Muy buena	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, colocada con extendedoras mecánicas.	2
Buena	Superficie de mezcla asfáltica colocada con terminadora. Carpeta de riegos.	2 - 3
Regular a mala	Superficie de tierra o grava.	2 - 4

Tabla 2.9. Bombeo para calzadas.

Tipo de superficie de la berma	Pendiente
Pavimento o tratamiento bituminoso	3.0 - 5.0
Grava o piedra partida	4.0 - 6.0
Revestimiento con césped	8

Tabla 2.10. Bombeo para bermas.

2.3.2 CÁLCULO DE ÁREAS Y VOLÚMENES

a) Cálculo de áreas

El cálculo del Movimiento de tierras, se lo realizó a partir de la información del proyecto vertical, de las secciones típicas adoptadas, del trazado horizontal y de los taludes de corte y relleno adoptados para el proyecto.

Estos datos se superponen y se calcula el área dentro de ellos. Para la determinación de los volúmenes de tierra entre sección y sección cada 20m y por ende en la totalidad de la carretera y utilizando los datos áreas transversales, longitud entre secciones, porcentaje de expansión del suelo e inclinación de taludes nos determina los volúmenes de tierra y las coordenadas del diagrama de masa.

Una forma de calcular las áreas de los terraplenes de una carretera, es mediante la fórmula trapezoidal, la cual consiste en dividir el dibujo en pequeñas partes, puede calcular el área de cada una y luego se suman hasta obtener el área total.

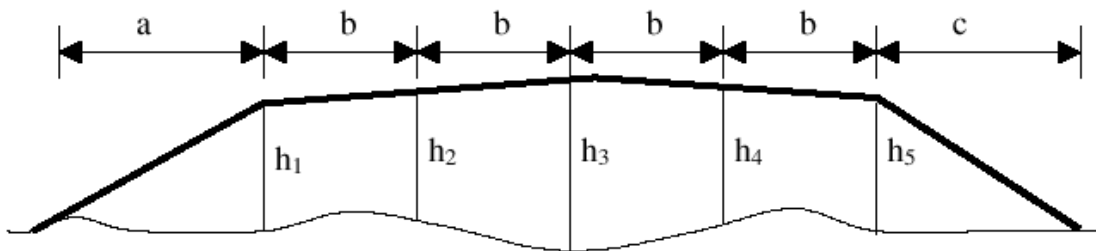


Figura N° 8: Cálculos de áreas

b) Cálculo de volúmenes

El método comúnmente usado para determinar el volumen comprendido entre dos secciones transversales es el de áreas medias. Se basa en la simplificación de que el volumen del sólido (V) comprendido entre las secciones paralelas o casi paralelas es igual al promedio de las áreas de ambas secciones (A1 y A2) multiplicado por la distancia entre ellas (L). En la siguiente figura se muestra este planteamiento. La expresión matemática del volumen calculado con el método del área promedio es:

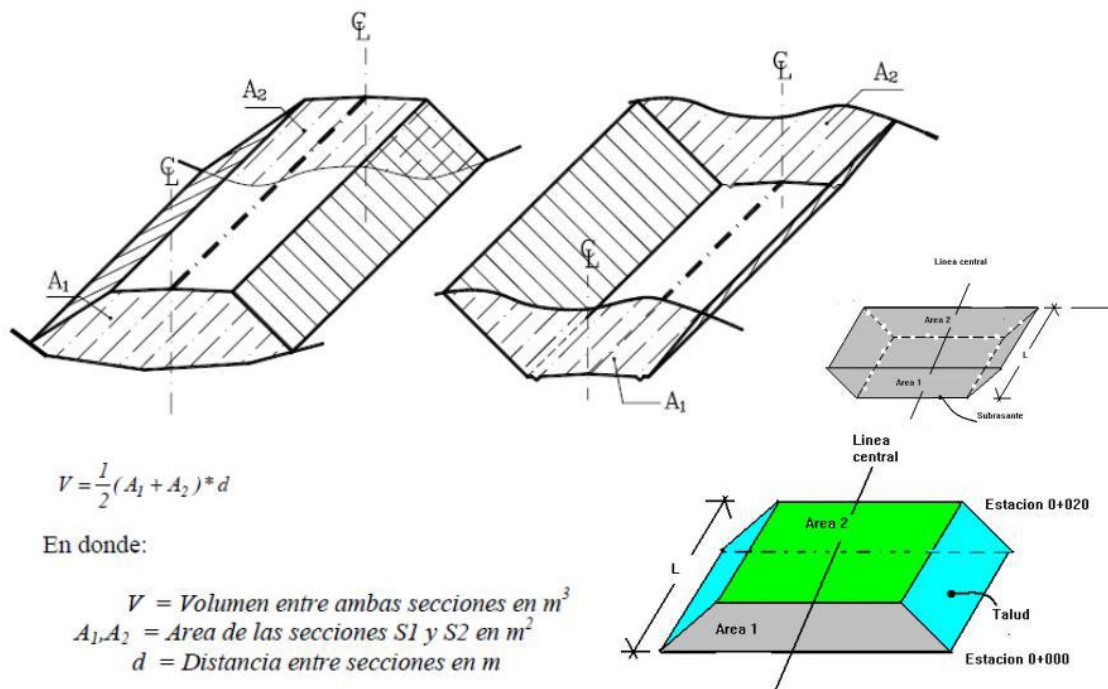


Figura N° 9: Cálculos de Volúmenes

Esto se aplica fácilmente en las secciones donde existen áreas de corte y relleno en ambas progresivas. Sin embargo, cuando en dos progresivas sucesivas, una tiene una área de corte y la otra no, se supone que el punto en el que el área de corte termina esta en medio de la distancia L, ósea L/2. Luego para estos casos, la formula cambia ligeramente según la ecuación siguiente:

$$V = \underline{AL}$$

4

Donde A es el área de corte o relleno en una de las secciones y L la distancia entre ellas. Aunque la sección transversal puede tomarse a cualquier distancia a lo largo de la línea de eje, debe emplearse mucho criterio, dependiendo principalmente de las irregularidades del

suelo y de cuan estrechas sean las curvas horizontales y verticales del trazo. En el caso de curvas estrechas, a menudo, es apropiado un espaciamiento de 5m.

2.3.3 DIAGRAMA DE MASA

La curva masa busca representar gráficamente el equilibrio para la calidad y economía de los volúmenes acumulados y sus movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

Las ordenadas de la curva resultan de sumar algebraicamente a una cota arbitraria inicial el valor del volumen de un corte con signo positivo y el valor del terraplén con signo negativo; como abscisas se toma el mismo encadenamiento utilizado en el perfil.

Los volúmenes se corrigen aplicando un coeficiente de abundamiento a los cortes o aplicando un coeficiente de reducción para el terraplén.

En ejecución este diagrama sirve para controlar y planificar los trabajos de movimiento de tierras.

Este diagrama está conformado por un eje horizontal que cruza a otro vertical en un punto cero denominado línea de balance, cuya escala es la misma de la horizontal del diseño en planta, en este eje horizontal están representados todas las estacas y puntos singulares del trazado.

La escala vertical es una escala volumétrica cuyos valores deben definirse en función de los valores máximos del volumen acumulado, positivos por encima de la línea de balance y negativos por debajo. Un buen diseño debe tener una gráfica más o menos sinusoidal para su compensación dentro de la distancia de libre acarreo, pero no siempre es posible realizar este diseño.

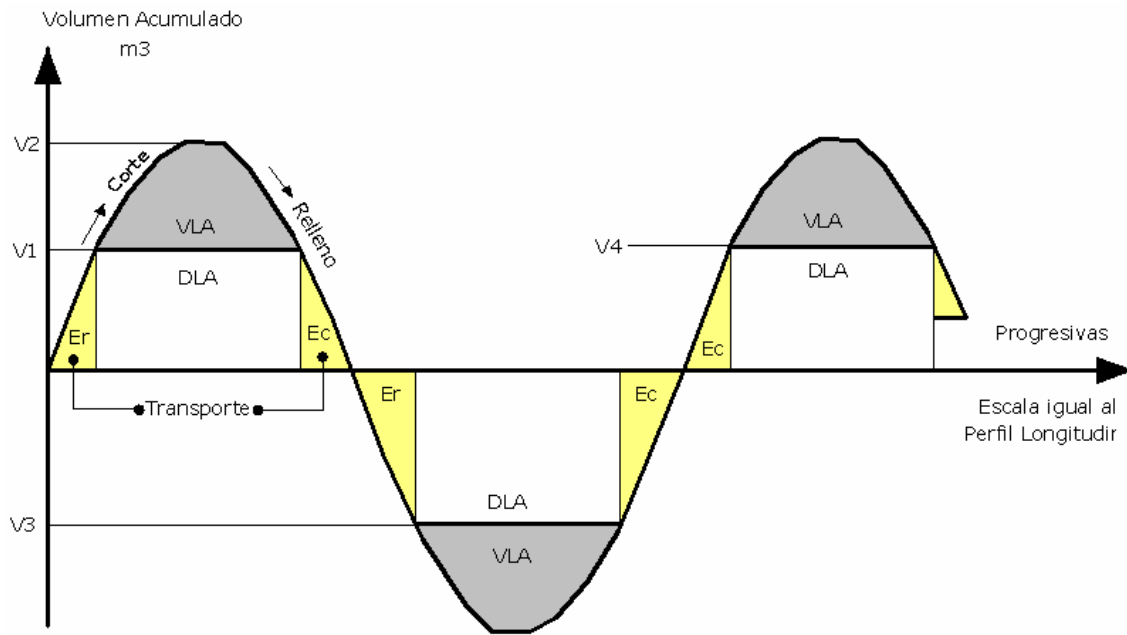


Figura N° 10. Diagrama de masas.

2.4 DRENAJE DEL CAMINO VECINAL

La construcción de un drenaje adecuado es un factor importante en la localización y el diseño de las vías. Las instalaciones de drenaje en cualquier vía o calle deben proveer en forma adecuada el alejamiento del flujo hidráulico del pavimento, hacia canales que tengan el diseño apropiado. Un drenaje inadecuado producirá serios daños a la estructura de la vía. Además, el tránsito puede entorpecerse por el agua acumulada en el pavimento y ocurrir accidentes por la pérdida de contacto con el pavimento y la pérdida de visibilidad debido al efecto salpicado y rociado del agua.

La importancia de un drenaje adecuado se confirma por la cantidad de dinero utilizado en construcción de instalaciones de drenaje en las vías. El 25% de la inversión se gasta aproximadamente en la construcción de estructuras para el control de la erosión y del drenaje, como alcantarillas, puentes, canales y zanjías.

2.4.1 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

La hidrología es la ciencia que estudia las características y la distribución del agua en la atmósfera, sobre la superficie de la tierra y en el suelo. El fenómeno básico en la hidrología es el ciclo que consiste en la precipitación que cae sobre el suelo en forma de agua, nieve, granizo, etc. y regresa a la atmósfera en forma de vapor. En la hidrología es común referirse a todas las formas de precipitación como precipitación pluvial; la precipitación se mide en términos de altura equivalente del agua que se acumula en la superficie del terreno.

Los estudios hidrológicos para una carretera se interesan principalmente en tres propiedades de la precipitación: la tasa de caída (velocidad de caída de la lluvia), que se conoce como intensidad; el intervalo de tiempo para una velocidad dada, se conoce duración; el número probable de años que va a transcurrir antes de que se repita una combinación dada de intensidad u duración, que se conoce como frecuencia.

2.4.2 DISEÑO DE OBRAS DE ARTE

a) Método Racional

El método racional se basa en la premisa de que la tasa de escurrimiento directo para cualquier tormenta dependa de la intensidad promedio de la tormenta, el tamaño del área de drenaje y el tipo de superficie del área de drenaje. Obsérvese que para cualquier tormenta dada la intensidad de la precipitación generalmente o es constante para un área grande, ni tampoco durante la duración completa de la tormenta. Por tanto la fórmula racional utiliza la teoría de que para una precipitación de intensidad promedio, I , que cae sobre un área impermeable de tamaño A , la tasa máxima de escurrimiento directo a la salida del área de drenaje Q , ocurre cuando toda el área de drenaje está contribuyendo al escurrimiento directo y esta tasa de escurrimiento directo es constante. Esto requiere que la duración de la tormenta sea menor o igual al tiempo de concentración que es el tiempo requerido para que fluya el escurrimiento directo desde el punto más alejado del área de drenaje hasta la salida. En la práctica no siempre se satisface esta condición, especialmente en áreas de drenajes grandes.

Por tanto se acostumbra el uso de la fórmula racional para áreas de drenaje relativamente pequeñas no mayores que 200 acres. La formula racional está dada como:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.60}$$

Donde:

Q= Caudal máximo (m³/seg).

A= Área de la cuenca (km²).

I= Intensidad de la lluvia (mm/h).

C= Coeficiente de escorrentía.

2.4.2.1 DISEÑO DE ALCANTARILLAS

Son estructuras transversales al camino que permiten el cruce del agua y están protegidas por una capa de material en la parte superior, pueden ser de forma rectangular, cuadrada, de arco o tubular, se construyen de concreto, lamina, piedra o madera.

a) MEDIDAS MINIMAS EN ALCANTARILLAS

Se recomiendan alcantarillas de dimensiones en la sección transversal no inferiores a 1 metro, para efectos de limpieza de obstrucciones en el interior de las mismas.

b) PENDIENTES DE LAS ALCANTARILLAS

Las alcantarillas deben tener una pendiente mínima a fin de asegurar la mayor eficiencia hidráulica posible. En alcantarillas de chapa ondulada cincada la pendiente mínima será función del tipo de ondulación, diámetro y profundidad de escurriendo. Pendientes del orden de 1.3% a 2.7% asegurarían el escurrimiento critico. En caños de hormigón no deberían diseñarse pendientes inferiores a 0.50%. Las alcantarillas con fuertes pendientes presentan los siguientes problemas específicos: empuje, infiltración, arrastres, erosión y abrasión.

2.4.2.2 DISEÑO HIDRÁULICO

En base a las cartas geográficas de la zona de proyecto, se definieron las áreas de aporte de cada una de las cuencas y subcuencas que cruzan el nuevo trazo, calculándose la magnitud del caudal después de realizar el estudio hidrológico lo que definirá cual debe ser la sección mas adecuada en adoptarse, Los cursos y afluentes definidos mediante el procesamiento de los datos de topografía (trabajo de gabinete), se verificarán mediante una sobreposición con las cartas geográficas digitalizadas, además de una visita de campo, para tener la certeza de su ubicación. Para definir las secciones adecuadas de las obras de drenaje del Camino Municipal, se diseñaron mediante el uso de programas de computacion como el CULVERMASTER, el cual considera el caudal, tipo de material, sección (tipo cajón de Ho.Ao ó de chapa de acero galvanizado) y el tipo de control que se le asigna a la alcantarilla, otro software utilizado es el HCANALES para el cálculo de las secciones hidráulicas de los diferentes tipos de cunetas y zanjas de coronamiento. Una vez definidas las secciones hidráulicas de las alcantarillas tipo cajón, se procedió al cálculo estructural de la misma, considerando todas las posibles cargas actuantes como el peso propio, la carga viva y muerta, además de los coeficientes de seguridad y combinaciones de carga dados por la AASHTO (1996).

2.4.2.3 DISEÑO DE LAS ALCANTARILLAS DE CRUCE

Para el cálculo de la totalidad de las alcantarillas, se realizó alimentando el programa con los datos del proyecto, y adoptando las dimensiones de las alcantarillas que satisfacen los requerimientos de caudal, y adoptándose una velocidad máxima admisible de 4.80 m/seg. en alcantarillas de hormigón y una velocidad máxima admisible de 6.5 m/seg. en alcantarillas de chapa. En base a las cartas geográficas de la zona de proyecto, se definieron las áreas de aporte de cada una de las cuencas y subcuencas que cruzan el nuevo trazo, lo que definirá cual debe ser la sección más adecuada en adoptarse, Los cursos y afluentes definidos mediante el procesamiento de los datos de topografía, se verificaron mediante una sobreposición con las cartas geográficas.

2.4.2.4 DISEÑO DE CUNETAS

Las cunetas pueden ser de sección en forma triangular, trapezoidal, rectangular y semicircular. Para el proyecto se adoptaron cunetas de sección triangular. Tal como se esquematiza en la siguiente figura N° 11



Figura N° 11. ESQUEMA DE CUNETAS.

Donde:

1:Z1 (vertical: Horizontal)

1:Z2 (vertical: Horizontal).

a) Cunetas de corte

Cuando la carretera se desarrolla en corte el agua a conducir hasta los puntos de descarga provienen del escurrimiento superficial sobre la calzada y los taludes de corte adyacente son evacuados por medio de cunetas cuya sección y material varían de acuerdo a los conceptos de:

- Conducción de las aguas al punto de descarga de la forma más rápida y eficiente, considerando un menor costo de construcción de mantenimiento.
- Atención de los aspectos erosivos, utilizando revestimiento prolongados en los segmentos de corte.
- Protección de las paredes de cunetas por transporte de partículas solidas de gran tamaño y sedimentación de las mismas.

Los valores de velocidad calculados por Manning, fueron comparados con los valores de velocidad máximas permitidas a fin de evitar erosión en los distintos tipos de suelos:

Velocidades por Tipo de Revestimiento

Revestimiento	Velocidad Permisible (m/seg.)
Tierra sin vegetación	0.305 a 0.61
Arena, arcilla poca o ninguna	0.61 a 0.915
Arcilla dura	1.22
Acilla muy coloidal	1.22
Arcilla y grava	1.22
Grava	1.22

Tabla 2.11. VELOCIDADES POR TIPO DE REVESTIMIENTO

2.4.3 HIDRÁULICA DE DRENAJE LONGITUDINAL.

La capacidad hidráulica de la cuneta como canal define principalmente la posibilidad de cumplir su función de canalizar y eliminar con rapidez el agua que colecte. El gasto por drenar depende del área del área de influencia, del coeficiente de escurrimiento y de la intensidad de lluvia durante un tiempo igual al de concentración.

2.4.4 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE APORTE QA.

La determinación del caudal de aporte se determinó a través del Método Racional, el cual se adapta para este tipo de drenaje, adoptándose un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos.

La expresión del método racional es la siguiente:

$$Q_a = \frac{CIA}{360}$$

donde:

Qa: Caudal de aporte en (m³/s.)

C: Coeficiente de Escurrimiento

I: Intensidad de lluvia en (mm/h).

A: Área de aporte en (Ha)

2.4.5 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO C.

El coeficiente de escurrimiento se define mediante la siguiente relación:

$$C = \frac{\text{Cantidad de agua superficial para una misma intensidad cuando toda el área contribuye}}{\text{Cantidad de lluvia}}$$

Los valores de “C” se detallan en la Tabla N° 2.12.

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA “C”

<i>Características de la superficie</i>	Periodo de Retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas Desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes							
Condición pobre (Cubierta de pasto <del 50% del área)							
Plano, 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (Cubierta de pasto del 50% al 75% del área)							
Plano, 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (Cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58

Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Tabla 2.12. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA “C”

2.4.6 INTENSIDAD DE LLUVIA “I”

Los datos de la intensidad de lluvias para el proyecto se determinó de las Gráficas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) que se encuentran en el informe de hidrología. La intensidad de lluvia se tomó para un periodo de retorno de 25 años.

2.4.7 ÁREA DE DRENAJE “A”.

El área de drenaje o de aporte para el cual se debe proyectar el canal, está sujeta a la calzada de la carretera y a las laderas adyacentes a la cuneta

2.4.8 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN “TC”.

El tiempo de concentración es el tiempo necesario para el escurrimiento desde el punto más lejano del área de drenaje hasta la descarga.

Para la determinación adecuada de los valores de t_c , como norma general, el tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos, salvo que se tengan mediciones en terreno que justifiquen adoptar valores menores. Se utilizará la formula de Kirpihc, la cual esta representa da por la siguiente expresión:

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Donde:

t_c : Tiempo de Concentración (min).

L : Longitud del cauce principal (m).

AH : Diferencia de alturas (m).

2.4.9 DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS.

El dimensionamiento de los canales o cunetas está sujeto al tratamiento hidráulico y condiciones de flujo, en el proyecto se elegirá un tratamiento hidráulico a flujo uniforme el cual se adapta para este tipo de estructura hidráulica (cuneta).

2.4.10 CAUDAL DE PROYECTO Q_p .

El caudal de proyecto tiene que ser igual o mayor al caudal de aporte (Q_a). El caudal de proyecto está expresado por la siguiente fórmula de Manning:

$$Q_p = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde:

Q_p : Caudal de proyecto (m^3/s).

A : Área de la sección transversal de la cuneta (m^2).

R : Radio hidráulico (m).

S : Pendiente longitudinal de la cuneta (m/m).

2.4.11 TIRANTE CRÍTICO “HC”.

El flujo crítico se produce cuando la energía específica del flujo es mínima, el cual determina el tirante crítico cuyo objetivo es encontrar el régimen hidráulico que se producirá durante la evacuación del flujo en la cuneta.

La expresión del tirante crítico para la sección propuesta es:

$$h_c = \sqrt[5]{\frac{8Q^2}{g(Z_1 + Z_2)^2}}$$

Donde:

h_c : Tirante crítico (m)

Q_p : Caudal de proyecto (m³/s)

g : Aceleración de la gravedad (9.81m/s²)

Z₁ = 1 (para el proyecto)

Z₂ = 2.(para el proyecto)

2.4.12 NÚMERO DE FROUDE “F”.

El número de Froude cuantifica el régimen hidráulico de un flujo con la siguiente expresión:

$$F = \frac{v}{\sqrt{gD}}$$

Donde:

v : velocidad característica del flujo (m/s).

g : Aceleración de la Gravedad (9.81 m/s).

D : Tirante hidráulico (m).

$$D = \frac{A}{T}$$

Donde:

A: Área hidráulica (m²).

T: Ancho de la sección de la cuneta en la superficie libre (m).

Cuando:

$F=1$ el régimen es Crítico.

$F < 1$ el régimen es Subcrítico.

$F > 1$ el régimen es Supercrítico.

En el proyecto, las cunetas esta en régimen supercrítico lo que implica que tienen que ser revestidas de Hormigón.

2.5.- CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

El estudio de suelos de la subrasante está orientado a conocer las características y la calidad de los materiales que constituyen el perfil de la subrasante, determinando así su aptitud en cuanto a su capacidad soporte y estabilidad.

Sobre la base de esta información determinar los diferentes criterios para un eventual cambio o mejoramiento de la calidad de la subrasante natural en caso de que lo requiera o simplemente para definir un buen diseño del paquete estructural de la carretera.

2.5.1 ENSAYOS DE LABORATORIO DE SUELOS

a) METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ESTUDIO DE SUELOS

La metodología adoptada en este estudio se dividió en las siguientes etapas:

- Etapa de campo
- Etapa de laboratorio
- Etapa de gabinete

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 6 pozos exploratorios a lo largo del tramo donde se emplazará el camino municipal, con una distancia promedio entre ellos de 500 mts, siendo la finalidad del estudio el conocer la distribución y profundidad de los

diferentes materiales determinados en cada punto de exploración, y establecer las condiciones de humedad, densidad natural y las situaciones estructurales de la subrasante. Las muestras obtenidas, se llevaron al laboratorio del Gobierno Municipal de Tarija realizando el respectivo análisis especializado de mecánica de suelos, para conocer las características y propiedades físico-mecánicas de los suelos de la subrasante. El resumen de los resultados de los ensayos realizados se muestra en anexos.

2.5.1.1 CLASIFICACIÓN

Los ensayos de laboratorio son:

2.5.1.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Determinación de la distribución granulométrica de las partículas de suelos mediante el método AASHTO T – 27.

2.5.2 LÍMITES DE ATTERBERG

Establecimiento de los límites de consistencia o límites de Atterberg:

2.5.2.1 LÍMITE LÍQUIDO

-Límite líquido. AASHTO T 89-76

2.5.2.2 LÍMITE PLÁSTICO

-Límite plástico. AASHTO T 90-70

-Índice de plasticidad

2.5.3 COMPACTACIÓN

La clasificación de los suelos fue realizada de acuerdo a la especificación AASHTO M 145 (The Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes)

Determinación de la relación Humedad-Densidad mediante el ensayo Proctor modificado. AASHTO T 180. Del cuál encontramos:

- Densidad máxima seca
- Porcentaje de humedad óptima

2.5.4 CBR

Determinación de la capacidad soporte CBR programada según los resultados de clasificación de los suelos investigados. AASHTO T193-72.

Los ensayos mencionados, se realizaron para todas las muestras obtenidas sobre el trazo del camino municipal en estudio.

Puede considerarse como un método puramente empírico, el valor Relativo de Soporte, ha recibido tal cantidad de atención, experiencia, investigación y análisis de correlaciones, siendo también un método científico, cuya promoción de relaciones adecuadas depende fundamentalmente del comportamiento estructural del pavimento flexible. Se establece en él una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles. Si bien este método es empírico, se basa en un sinnúmero de trabajos de investigación llevados a cabo tanto en laboratorios de ensayo de materiales, como en el terreno, considerándose como un método muy práctico.

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL CAMINO MUNICIPAL

3. Diseño del Pavimento Flexible

La mayor parte de los métodos de diseño de espesores de pavimentos flexibles, tienen como base una prueba de laboratorio o un conjunto de pruebas, que se suponen sirven como índice para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonable y seguras, que deben de existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio. Ya que en el caso de los pavimentos flexibles un conjunto de factores circunstanciales (humedad, compactación, drenaje, etc.) afecta su comportamiento, no existe un solo método de diseño totalmente confiable. Desde este punto de vista el método de diseño que se aplique debe verse como un marco de referencia de criterio, una base de cálculo, pero también como algo que ha de ser complementado por “arte” y experiencia.

3.1.- EL TRÁFICO.-

El estudio de tráfico es fundamental para el diseño de pavimentos, elementos como el volumen de tráfico y el carácter del tránsito fijando el ancho de la vía. Mientras que, el peso y la frecuencia de las cargas de los ejes o de la rueda de los vehículos, determinan el espesor y otras características del diseño estructural. En el proyecto de un pavimento flexible, ningún método de diseño toma la variabilidad del tránsito en forma completa, siendo necesario reducir todas las variables del tránsito a un concepto constante o que, por lo menos, puedan ser manejados en formulas matemáticas o en criterios del diseño de un modo cómodo e integral.

Cuantificar de forma racional el volumen del tráfico que circulará por la carretera, es el elemento de mayor importancia para poder determinar la factibilidad de un proyecto vial. El volumen de tráfico se entiende como el número de vehículos que pasa por un punto o sección transversal, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado.

Este periodo predeterminado normalmente es año, día y hora. Determinado de esta manera el tráfico vehicular actual, este es afectado por un factor de crecimiento del parque automotor de la zona en estudio, estimando de esta manera el tráfico futuro, que será usado para el diseño.

a) Tráfico Vehicular Actual:

Se realiza el conteo de volumen horario de máxima demanda, en horas pico. Este conteo de máxima demanda, es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada, durante 60 minutos consecutivos. Siendo un valor representativo de los periodos de máxima demanda que se puede presentar durante un día particular.

b) Tránsito Promedio Diario:

Es el número total de vehículos que pasan durante un día por un punto determinado tomando en cuenta, los datos aforados de tráfico vehicular actual. El TPD puede variar en los puntos de aforo, debido a que una obra vial, esta conectado a muchos accesos de salida o entrada por este motivo, es que para realizar el análisis correspondiente, se toman los resultados más desfavorables, de los puntos de aforo. Estos tráficos promedios diarios resultantes, serán utilizados para la determinación del número de ejes equivalentes ESALS.

c) Tráfico Vehicular Proyectado:

Es el volumen total de vehículos, comúnmente representados por ejes equivalentes el cual será alcanzado a lo largo del periodo de diseño o vida útil del pavimento.

Momento en el que la serviciabilidad será mínima. El índice o tasa de crecimiento es uno de los parámetros utilizados para poder determinar el tránsito promedio diario que calcularemos más adelante. Con este índice de crecimiento anual de tránsito y un periodo de diseño dado, determinamos el factor de crecimiento de tránsito con la siguiente fórmula:

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

(Ecuación 3.1)

Donde:

n = periodo de diseño (años)

i = índice de crecimiento anual de tránsito (adimensional).

F = factor de crecimiento de tránsito y no debe ser nula.

Si es nula, el factor es igual al periodo de análisis.

Es evidente que las estimaciones del tránsito presente, resultan insuficientes para propósitos de diseño por eso, se toma en cuenta el tránsito futuro. Reconociéndose que la construcción de un camino municipal siempre genera tránsito y que el tránsito en un camino municipal varia año a año. Así, el crecimiento del tránsito se expresa como un incremento porcentual del tránsito anualmente.

3.2.-Efectos de las cargas sobre el pavimento

El efecto destructivo de las cargas del tráfico crece al aumentar estas en proporción mucho mayor que la lineal. El conocimiento preciso de la distribución de los pesos por eje, además del número total de los vehículos, constituyen el primer paso al estudiar las condiciones resistentes de un pavimento construida o al dimensionar una nueva. El proyectista tiene que resolver varios problemas a la hora de calcular el tráfico de proyecto:

a) Determinación correcta del tráfico inicial del camino municipal, así como la distribución de los distintos tipos de vehículos con sus variaciones diarias y anuales.

b) Previsión de la evolución de este tráfico en el futuro, al menos durante el periodo de proyecto.

c) Definición de vehículo pesado, distribución porcentual de las distintas configuraciones de vehículos pesados y evaluación de las cargas reales por eje en función de dichas configuraciones (siluetas).

d) Distribución transversal de las solicitaciones en función del ancho de los carriles, número total de carriles, pendiente longitudinal de la carretera, etc.

Como se puede apreciar, la metodología no es complicada, pero resulta muy compleja, laboriosa y costosa llevarla realmente a la práctica. Por ello, la sistemática para la determinación del tráfico del proyecto se reduce sensiblemente en la práctica habitual de cualquier método de cálculo, admitiéndose en algunos de ellos una mayoración de los espesores finales obtenidas para absorber las imprecisiones existentes en la determinación de las solicitaciones del tráfico.

La evaluación del tráfico inicial se hace en las vías ya existentes mediante aforos y pesadas de vehículos. Km. carreteras no construidas debe estimarse de los datos disponibles en otras

vías paralelas, a partir de encuestas de origen y destino, estudios sobre demanda de tráfico, evolución de zonas industriales y urbanas, etc.

En los dos casos, los aforos de tráfico simplemente mediante conteos son insuficientes para el dimensionamiento del pavimento aunque se disponga de clasificaciones complementarias sobre tipos de vehículos (turismos, autobuses, camiones de dos ejes, etc.). Los sistemas de pesaje del tráfico son más precisos, a través de básculas estáticas o dinámicas, fijas o móviles ubicadas en distintos puntos de la carretera.

Las básculas dinámicas son capaces de pesar, clasificar y totalizar los ejes de los vehículos que en plena marcha, han pasado sobre ellas.

En definitiva, para la medida de las cargas con las que los vehículos solicitan a los pavimentos, la tecnología actual proporciona sistemas que permiten su evaluación de formas suficientemente ajustadas para los objetivos que un técnico vial precisa.

El peso de un vehículo puede ser determinado, según se ha indicado, de dos formas: estática y dinámicamente. La determinación del peso estático supone la medida simultánea de las fuerzas gravitacionales ejercidas por todas las ruedas de un vehículo sin movimiento. Solo pueden ser obtenidos resultados precisos si las ruedas del vehículo se mantienen en un plano horizontal y no existe redistribución durante el proceso de pesaje.

3.2.1 Acumulación de efectos

En algunos métodos antiguos de dimensionamiento de pavimentos, el tráfico solo intervenía según la carga máxima por eje prevista. Posteriormente, se vio la necesidad de considerar el efecto de la repetición de cargas, esto es, del número total de ejes ó vehículos esperados durante la vida de proyecto. El problema se resolvió en algunos métodos, aumentando los espesores de los pavimentos, utilizando generalmente leyes logarítmicas que relacionaban el número de cargas a soportar con el espesor necesario.

Para el cálculo de la degradación producida en cualquier tipo de pavimento por la aplicación sucesiva de ejes de carga de distinta magnitud, se puede aplicar, a falta de un mejor conocimiento del comportamiento de los pavimentos, la ley de Miner que supone que la

fatiga producida por la aplicación de una carga durante la vida del pavimento es independiente de las solicitaciones a las que anteriormente haya estado sometido.

Si un pavimento es capaz de soportar N_i aplicaciones de carga de valor f_i antes de usarse, de acuerdo con la hipótesis de Miner, la fatiga producida por una aplicación aislada de la carga, será:

$$f_i = \frac{1}{N_i} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

En el grado de fatiga total ocasionado por un conjunto de cargas (cada una de ellas aplicada n_i veces) es igual a la suma de los grados de fatiga de cada una de ellas, es decir:

$$F = \sum_i f_i n_i = \sum_i \frac{n_i}{N_i} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Siendo:

F = Grado total de fatiga producido por el conjunto de cargas (ha de ser menor de 1).

n_i = Número de aplicaciones de la carga f_i .

N_i = Vida de fatiga del pavimento sometido a la aplicación sucesiva de cargas de valor

3.2.2 Coeficiente de equivalencia de un vehículo pesado

El ensayo AASHO valoró teniendo en cuenta la ley de Miner, el efecto destructivo que sobre un pavimento tienen las cargas pesadas, estableciéndose el criterio de los factores de equivalencia entre distintos ejes. Se comprobó experimentalmente que el efecto destructivo de un eje de 18 t. era 23 veces mayor que el de un eje 8.2 t. y que el de un eje de 1t. era solo el 0,0002 del efecto destructivo de un eje de 8,2 t. Como consecuencia lógica se preconizó el empleo de un tráfico ficticio de proyecto. Que expresado en número de ejes tipo (8,2 t., 10 t. ó 13 t., según los países), ponderarse los pesos de los ejes y su efecto destructivo mediante unos factores de equivalencia.

La equivalencia entre cargas resulta ser una relación exponencial de la forma:

$$e = \left(\frac{P_i}{P_o} \right)^4 \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

En la que e es la equivalencia unitaria a efectos de deterioro producido en el pavimento entre la carga p_i y la p_o adoptado como eje tipo (para nuestro caso 8.2 tn.)

La experiencia de algunos países europeos (Francia y Bélgica, especialmente), pone de manifiesto que la ley de la cuarta potencia obtenida como simplificación de las conclusiones del ensayo AASHO, y seguida en estos momentos por la mayoría de los métodos de proyecto de casi todos los países, puede ser razonablemente válida para el cálculo de secciones estructurales flexibles. Sin embargo, con capas de bases estabilizadas (pavimentos semirrígidos), el factor de potencia es sensiblemente superior, pudiendo, según algunos autores, llegar a 12.

Cuando se trata de ejes tándem, tridem o configuraciones especiales, se pueden establecer unas relaciones similares a las anteriores para reducir su efecto destructivo a un número de ejes simples tipo equivalentes.

Conocida la equivalencia de un eje cualquiera con relación a un eje tipo, el problema que se plantea en la práctica es la reducción a la misma unidad de un vehículo pesado de configuración dada teniendo en cuenta que el deterioro producido en un pavimento por el mismo depende, entre otras variables, de:

- a) Número de ejes
- b) Tipo de eje (aislado, tándem o tridem, ruedas simples o gemelas, neumático normal o radial etc.).
- c) Situación de cada eje
- d) Carga por eje.

Simplificando, basta con aplicar la ley de Miner a cada uno de los ejes, cuya equivalencia con el eje tipo se conoce de acuerdo con la expresión de la AASHO u otra similar. Debe hacerse notar que el daño estructural producido por las cargas aumenta rápidamente al aumentar la carga por eje. A este respecto, la información de la Fig. N° 12, es concluyente. En ella se presentan resultados de la prueba AASHO, mostrando el coeficiente de equivalencia de cargas en ejes sencillos y en ejes tándem, existe mucha diferencia entre los

daños producidos por ejes sencillos o tándem que tengan el mismo peso, de manera que un eje sencillo causa el mismo deterioro que 12 tándems que pesen lo mismo que él.

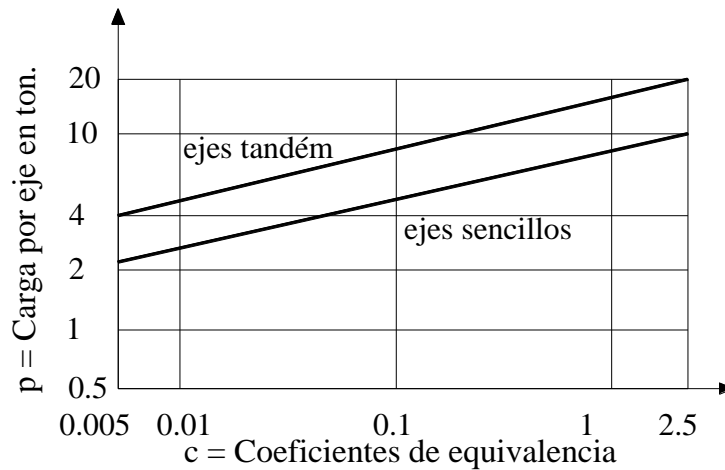


Figura N° 12 COEFICIENTES DE EQUIVALENCIA DE CARGA

$$e_{\text{SENCILLO}} = \left(\frac{P_s}{8.2} \right)^4$$

$$e_{\text{TANDEM}} = \left(\frac{P_s}{15} \right)^4$$

(Ecuación 3.5)

P_s = Carga por eje sencillo (ton)

P_t = Carga por eje tándem (ton]

Para igualdad de daño $P_t = 1.8P_s$

La Tabla 3.1, muestra los tipos de vehículos que es usual considerar en el tránsito carretero. El 1 es de ruedas sencillas, los tipos 2, 3 y 4 tienen ya arreglos duales en el eje trasero y los tipos 5, 7 y 8 poseen dispositivos en tándem. El tipo 6 es una muestra de un modelo relativamente menos usual de tractor y remolque con sistema dual en el eje más trasero. En la tabla se muestran también los coeficientes de equivalencia de carga de los diferentes vehículos en uso, obtenidos de pruebas realizadas por la AASHO, De hecho, esos coeficientes, que se presentan para vehículos cargados se obtienen directamente de las gráficas de la Fig. 2.1, entrando con la carga por eje y leyendo directamente el coeficiente.

TABLA 3.1. CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS A EJES EQUIVALENTES

TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA (TON)	EJE	P/cargado	e
1	Automóviles	2	1	1	0.0002
			2	1	0.0002
			Σ	2	0.0004
2	Camión Pequeño	2.5	1	1.6	0.0014
			2	3.3	0.026
			Σ	4.9	0.0274
3	Bus Mediano	25 Pasajeros	1	4.2	0.069
			2	8.3	1.05
			Σ	12.5	1.119
4	Camión Mediano	5.1	1	2.5	0.0086
			2	6.8	0.473
			Σ	9.3	0.4816
5	Camión Grande (tándem)	9.7	1	2.6	0.01
			2	14	0.76
			Σ	16.6	0.77
6	Camión Grande	9.7	1	3	0.018
			2	8	0.9059
			3	7.8	0.8186
			Σ	18.8	1.7425
7	Camión Grande (tándem, c/ acoplado)	133	1	4	560
			2	8.5	1.16
			3	12.1	0.43
			Σ	24.6	1.646
8	Camión Grande (tándem doble, c/acoplado)	16	1	3.9	510
			2	13	0.564
			3	13	0.564
			Σ	29.9	1.179

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 97

3.3.- Presión de contacto de las cargas sobre el pavimento.-

Las presiones de contacto no afectan ni controlan el espesor necesario del pavimento, pero influyen en la calidad que deben tener las capas superiores de la estructura. Se asume como el esfuerzo que transmiten las ruedas, la presión de inflado de las llantas, la cual varía para

vehículos pesados entre 5.6 Kg/cm² (80 PSI) a 7.0 Kg/cm² (100 PSI) el radio de carga, generalmente oscila entre 10 cm. y 15 cm.

3.4.- Área de contacto y tiempo de carga

Los neumáticos de los vehículos se apoyan sobre la calzada de manera distinta, formando una huella, la cual depende del tipo de llanta, La Presión de Inflado y la carga por rueda del vehículo. Si el vehículo esta en movimiento, además de la carga vertical, actúan fuerzas tangenciales debidas al rozamiento y cambios de trayectoria, succiones y efectos verticales de impacto.

Para la determinación del área de contacto, se supone como hipótesis que:

$$\text{Area de contacto} = \frac{\text{Carga de llanta}}{\text{Presión de Inflado}} \rightarrow \boxed{\text{El área de}}$$

3.4.1 Velocidad de aplicación de las cargas

La velocidad de los vehículos, influye en el tiempo de aplicación de la carga, por ende, en su frecuencia. El modulo dinámico de las mezclas asfálticas, está en función de la temperatura de la propia mezcla y de la frecuencia de aplicación de las cargas.

$$\mathbf{E_{din} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = f(T^{\circ}, F)}$$

$$\mathbf{Log(t) = 0.005 * h - 0.2 - 0.94 * Log(V)}$$

$$\mathbf{F = \frac{1}{2 * \pi * t} \quad T = 2 * \pi * t}$$

(Ecuación 3.6)

Donde:

t: Tiempo de aplicación de la carga (sg) **h:** Espesor de la carpeta (cm.)

V: Velocidad del vehículo (Km/h) **F:** Frecuencia de la carga (Hz)

T: Periodo de aplicación de la carga (sg)

A altas velocidades del vehículo, el tiempo de aplicación de la carga es bajo, el periodo de la carga es bajo y por lo tanto la frecuencia de aplicación de la carga es alta, produciendo que el módulo de la mezcla asfáltica sea alto además, la velocidad de los vehículos, origina roce y succión entre la superficie de rodadura del pavimento y la superficie del neumático, tendiendo a desgastar y pulimentar dicha superficie. La carga del vehículo es instantánea, ósea que a mayor velocidad, se producen menores esfuerzos verticales.

3.4.2 Impacto

Este parámetro, se tiene en cuenta en los sitios donde las estructuras de los pavimentos, se unen con otras clases de estructuras, y por lo tanto puede originar deterioro, los espesores de las capas y las cargas de los vehículos, no se incrementan por efecto de esta condición.

3.5.- Volumen de tráfico

Se define como volumen de tráfico a la cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle, en un periodo de tiempo predeterminado que normalmente es una hora, un día, dando origen a un nuevo concepto de tránsito diario y tránsito horario respectivamente.

El tránsito promedio diario (TPD), es la cantidad de vehículos que circulan por un punto o sección transversal, en un tiempo definido de una día este concepto se estableció para estudios cuyo tiempo iba a ser de un año dando origen al (TPDA), en la práctica se ha dado normalmente para proyectos específicos, apertura de calles, ampliación de avenidas, etc. Se realizan estudios menores a un año, siendo aun los valores significativos.

El tránsito promedio horario (TPH), es la cantidad de vehículos que circulan por un punto o sección transversal, de carretera en un periodo de tiempo de una hora, este valor es mucho más sensible que el (TPD), ya que proporciona valores de variación de volúmenes en cada

hora a lo largo del día, pudiendo obtenerse las horas pico de mayor volumen y horas de bajo volumen. Teóricamente tendrá un valor máximo que tendría que ser usado confines de diseño geométrico, pero dada la posibilidad que se presenta en determinadas y pocas horas durante el día, hacen que no sea un valor recomendable para el diseño.

3.5.1 Composición de Volumen:

Se refiere a los distintos tipos de vehículos que componen el tráfico que circula por una calle o carretera. Una composición casi universal, es la que se clasifica en; automóviles, camiones, autobuses, motocicletas, bicicletas.

Entendiéndose como automóviles todos aquellos compuestos por dos ejes y cuatro ruedas, como ser, autos, camionetas pequeñas y otros. Esta clasificación no es rígida, pudiendo establecerse la más adecuada para el proyecto en particular.

3.5.2 Tránsito equivalente:

Como las diferentes cargas actuantes en un pavimento producen diferentes tensiones y deformaciones, las fallas serán distintas. Para solucionar esta diferencia, el tránsito que está compuesto por vehículos de diferentes peso y número de ejes, es reducido a un número equivalente de ejes tipo que producirá el mismo daño que toda la composición del tránsito. Esta carga tipo es de 80 KN o 18 Kips que es denominado ESAL, la conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga LEF, que es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga dada de un tipo de eje y la producida por el eje Standard de 80 KN en el mismo eje.

3.6.-Método AASHTO

Este método es similar a su equivalente para pavimentos rígidos, su fórmula de resolución es:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Así, se tienen variables de ingreso en donde:

- W_{18} = Número previsto de ejes equivalentes de 18000 libras (18 kips), a lo largo del periodo de diseño
- Z_R = Valor de la desviación normal estándar asociado al nivel de confiabilidad con el que se desea diseñar el pavimento
- S_0 = Desviación estándar que combina por una parte la desviación estándar media de los errores de predicción del tránsito durante el período de diseño, y por otra la desviación estándar de los errores en la predicción del comportamiento del pavimento (expresado en ejes equivalentes de 18 kips) al alcanzar un determinado índice de servicio terminal
- ΔPSI Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
- P_o Índice de servicio inicial
- P_t Índice de servicio final
- C_d Coeficiente de drenaje
- SN Numero estructural

3.7. W_{18} (ejes simples equivalentes de 8.2 Ton) a lo largo del período de diseño

El método AASHTO requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 8.2 Ton de los diferentes pesos que circularán sobre el pavimento a lo largo del período de diseño según como se describe en el capítulo de tráfico.

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

$$N_i = (P_i / 8.2)^4 \quad \text{Para eje simple}$$

$$N_i = (P_i / 15)^4 \quad \text{Para eje tándem}$$

En donde: N_i : Factor de equivalencia
 P_i : Peso del eje en miles de libras

Los diversos factores se utilizan para transformar un eje de determinado peso a uno equivalente simple de 8.2 toneladas, un vehículo tiene 2 o más ejes, y es la suma de los factores de equivalencia para sus diferentes ejes lo que constituye el factor camión, con el cual se transforma el paso de un determinado vehículo a un número de repeticiones de un eje simple equivalente de 8.2 ton. Esta transformación se detalla a en la tabla que se presenta a continuación, los valores del tránsito promedio diario se extrajeron del capítulo de tráfico, para luego ser multiplicados por 1.23 y encontrar el tráfico actual, como ya se explico en el capítulo anterior, este valor es proyectado para obtener el número de repeticiones de este vehículo a lo largo del período considerado. Esto puede realizarse mediante fórmulas de interés, mas, se trabaja con el criterio, de que el tránsito diario aumenta en un determinado porcentaje a lo largo del tiempo, y no como otras fórmulas lo consideran, aumenta “automáticamente” pasado un año, es decir, existe un crecimiento diario del parque automotor, en una proporción diaria que viene dada por:

$$i_{diario} = \sqrt[365]{i_{anual}} = \sqrt[365]{1.05}$$

La sumatoria total de los vehículos que transcurren en 20 años está dada por:

$$\sum_0^{20 \text{ años}} \text{vehiculos} = TPDI_{actual} * \frac{i_{diario}^{(360*20+1)} - 1}{i_{diario} - 1}$$

Los factores de crecimiento se muestran en la tabla 3.1 y los ejes equivalentes en la tabla 3.2

3.8 M_R (módulo resiliente)

En el método AASHTO, reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. En nuestro caso M_R (Subrasante) = 11400 psi

$$\text{MR [MPa]} = 22.1 * \text{CBR}^{0.55} \dots\dots\dots 12 < \text{CBR} < 80$$

$$\text{MR [MPa]} = 1500 * \text{CBR} \dots\dots\dots 10 < \text{CBR}$$

$$\text{C.B.R} = 7,6$$

$$\text{MR} = 1500 * 13,7; \text{MR} = 11400 \text{ Psi}$$

Encontrando valores de: $M_R = 24348 \text{ Psi}$ para la capa subbase, y $M_R = 36812 \text{ Psi}$ para la capa base

Tabla 3.2

FACTORES DE CRECIMIENTO DE TRÁNSITO

Periodo análisis (años)	Factor de crecimiento	Tasa crecimiento anual %						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	2,0	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3	3,0	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4,0	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5,0	5,20	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6,0	6,31	6,63	6,80	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7,0	7,43	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8,0	8,58	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,44
9	9,0	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10,0	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	11,0	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	12,0	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13	13,0	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,50	24,52
14	14,0	15,97	18,29	19,16	21,01	22,55	24,21	27,97
15	15,0	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16	16,0	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17	17,0	20,01	23,70	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18	18,0	21,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,60
19	19,0	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20,0	24,30	29,78	33,06	36,79	41,00	45,76	57,28
25	25,0	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35

30	30,0	40,57	56,08	66,44	79,06	94,46	113,28	164,49
35	35,0	49,99	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02

Fuente: Elaboración propia según los datos de tráfico vehicular

Tabla 3.3

Ejes equivalentes para pavimentos

	Prom. Diario	Disposición	Peso Máximo por Eje		Factor de Equivalencia por eje		Factor Camión	TPDI	Total Veh.	ESAL
Vehículos livianos	336	1-1			0.02	0.02	0.036	403	4,862,961	175,067
Vehículos Semipesados	252	1-1	5.7	10.45	0.243	3.07	3.313	302	3,644,204	12,073,248
Total de Ejes Equivalentes de 8.2 Ton. Para el período de diseño										12,248,315

Fuente: Elaboración propia

El ESAL debe ser el que usará el carril de diseño, así que este valor encontrado anteriormente se multiplica por 0.5, obteniéndose $ESAL = 6,124,157$ veh / carril

3.9 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 tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un determinado periodo de diseño 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 confiabilidad R , de forma que haya una probabilidad igual a $1-R/100$ de que el tránsito realmente soportado sea inferior al valor $N - Z*S_0$

3.10 Desviación estándar S_0

Tal como se ha indicado en el párrafo anterior, representa la desviación estándar conjunta que conjuga la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño, y con 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 AASHTO recomienda adoptar para S_0 valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

- Pavimentos rígidos; 0,30 – 0,40
- Pavimentos flexibles: 0,40 – 0,50

Por otra parte, en la Guía se sugieren los niveles de confiabilidad indicados en la Tabla 3.4, de acuerdo con el tipo de carretera de que se trate.

Tabla 3.4

Niveles de confiabilidad a adoptar en función del tipo de carretera.

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80

Fuente: Niveles de Confiabilidad

Según esta tabla para una arteria urbana Colectora podemos asignar un nivel de confiabilidad de 90 % con lo que se obtiene un valor de $Z_R = -1,282$; y para el valor de la desviación S_0 se tomará 0.45.

3.11 Coeficiente de drenaje C_d

El valor del mismo depende de dos parámetros; La calidad del drenaje, 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 está 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 3.5

Tabla 3.5

Calidades de drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo que tarde 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: Elaboración propia

Combinando las variables anteriormente indicadas, se recomienda adoptar para C_d los valores indicados en la Tabla 3.6

Tabla 3.6

Valores del coeficiente de drenaje C_d

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en el que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más del 25%
Excelente	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Bueno	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Mediano	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Malo	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Muy malo	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

Fuente: Diseño Final camino municipal

El coeficiente de drenaje será bueno por contar con una capa subbase cuya función principal será precisamente la de capa drenante, y porque el pavimento no se encuentra saturado en un porcentaje mayor al 5% del tiempo.

La AASHTO, recomienda tiempos de drenaje, que están basados en el tiempo requerido para drenar la capa hasta un grado de saturación del 50%, sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce significativamente el tiempo real usado para la selección de calidad de drenaje.

TABLA 3.7 TIEMPOS DE DRENAJE

Calidad de drenaje	50% de Saturación en :	85% de Saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho mas de 10 horas

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 97

Esta calidad de drenaje es expresada a través de los coeficientes de drenaje m_i que afectan a las capas no ligadas.

TABLA 3.8 COEFICIENTES DE DRENAJE (m_i)

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1,4 – 1,35	1,35 – 1,3	1,3 – 1,2	1,2
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,0	1,0
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,0 – 0,8	0,8
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,8	0,8 – 0,6	0,6

Muy Pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,4	0,4
-----------	-------------	-------------	------------	-----

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 97

3.12 La Serviciabilidad de un pavimento

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviciability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, p_o , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal, p_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son:

Serviciabilidad Inicial:

- $p_o = 4,5$ para pavimentos rígidos.
- $p_o = 4,2$ para pavimentos flexibles.

Serviciabilidad final:

- $p_t = 2,5$ para pavimentos rígidos.
- $p_t = 2,0$ para pavimentos flexibles.

3.13 SN (número estructural)

Representa un espesor ficticio que se requiere para proteger de las tensiones verticales excesivas a la capa considerada, el número estructural es convertido a espesor de una determinada capa según la fórmula:

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3$$

Donde: a_1 , a_2 , a_3 son coeficientes estructurales o de capa, que se encuentran relacionadas con el CBR de la base y subbase, así

$$a_1 = 0,44$$

$$a_2 = 0,13$$

$$a_3 = 0,12$$

m₂, m₃ son coeficientes de drenaje que se determinan en función al tiempo que están expuestas a saturación, y a la calidad de drenaje según la tabla 3.5 así se tiene

$$m_2 = 1,20; m_3 = 1,00$$

D₁, D₂, D₃ son espesores de capas

Esta ecuación no tiene una única solución, hay muchas combinaciones de espesores que la pueden satisfacer, según el procedimiento que se realiza a continuación, se determinan espesores mínimos en función del SN para las diferentes capas.

3.13.1 Coeficientes estructurales

Denominados también coeficientes de capa, indican la resistencia relativa de los materiales como componente estructural de un pavimento, aunque directamente, no sean un índice de la resistencia del material; no obstante, estos materiales están correlacionados con distintos parámetros de resistencia y fueron determinadas en las pruebas experimentales AASHO. Estableciéndose, valores para dichos coeficientes, considerándose que el factor de resistencia, correspondiente a una mezcla asfáltica de estabilidad apreciable como por ejemplo un concreto asfáltico ($a_1=0,44$), base granular ($a_2=0,14$) y sub-base gravo arenosa($a_3=0,11$).

TABLA 3.9 COEFICIENTES ESTRUCTURALES

Componentes de un Pavimento	Coeficientes		
	a ₁	a ₂	a ₃
Capa de Rodamiento			
Mezcla en sitio (estabilidad baja)	0,20		
Mezcla en planta (estabilidad alta)	* 0,44		
Arena asfalto	0.4		
Capa Base			
Grava arenosa		0,07	
Piedra picada		0,14*	
Base Tratada con cemento (no un suelo – cemento o no estabilizado):			

650 Lb/pulg ²		0,23	
400- 650 Lb/pulg ²		0,20	
400 Lb/pulg ² , o menos		0,15	
Base tratada con material bituminoso:			
De gradación gruesa		0.3	
Arena asfalto		0.25	
Base tratada con cal		0,15-0.3	
Sub - base			
Grava arenosa			0,11*
Arena o arcilla arenosa			0,05-0,1

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 97

3.13.2 Estabilidad y Factibilidad de Construcciones:

No es práctico ni económico colocar capas de un espesor menor que el mínimo requerido, siendo más estables aquellos espesores por encima del mismo. Es necesario considerar la efectividad del costo de construcción y mantenimiento para evitar la posibilidad de producir un diseño poco práctico. A continuación, se dan valores mínimos sugeridos para capas de concreto asfálticos y la base granular en función al tránsito.

TABLA 3.10 ESPESORES MÍNIMOS RECOMENDADOS

Numero de ESALS	Espesores mínimos (cm.)	
	Concreto Asfáltico	Base granular
Menos de 50000	2,5	10
50000 - 150000	5,0	10
150000 - 500000	6,5	10
500000 - 2000000	7,5	15
2000000 - 7000000	9,0	15
más de 7000000	10,0	15

Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 97

3.13.3 Espesores mínimos en función del SN:

Se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas a tensiones verticales excesivas que les producirán deformaciones permanentes.

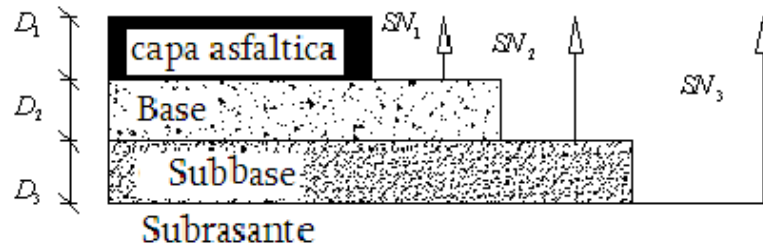


Figura n° 13 Esquema de capas de pavimento flexible

3.14 Determinación del espesor del pavimento.

Ya definidos los valores de los distintos parámetros se obtiene:

Tabla 3.11

Resultados de la resolución de la ecuación AASHTO para pavimentos flexibles

Zr = -1,282	Mr (psi)	SN (pulg)	Para proteger a:
So = 0,45	11400 →	2,51	Subrasante
PSI = 1,7	24048 →	1,89	Subbase
Pt = 2,5	35712 →	1,60	Base
W18 = 5996495			

Con estos resultados, se puede analizar los espesores que una capa requiere como mínimo de la suma de las capas superiores, por lo que se adopta un $D_1 = 3''$, ya que usando el método AASHTO nos da un $D_1 = 15 \text{ cm.}$, por lo tanto:

$$D_1 > SN / a_1 \rightarrow D_1 \geq 3'' \text{ o } 7,5 \text{ cm}$$

$$\rightarrow SN'_1 = 3 * 0,44 = 1,32''$$

$$D_2 > \frac{SN_2 - SN'_1}{a_2 m_2} = \frac{1,89 - 1,32}{0,13 * 1,20} \rightarrow D_2 \geq 3,65'' \text{ ó } 9,28 \text{ cm}$$

Se trabajará con 15 cm $\rightarrow SN'_2 = 5,91 * 0,13 * 1,20 = 0,92''$

$$SN'_2 = 0,92''$$

$$D_3 > \frac{SN_3 - SN'_2 - SN'_1}{a_3 m_3} = \frac{2,51 - 1,32 - 0,92}{0,12 * 1,00} \rightarrow D_3 \geq 0,27'' \text{ ó } 0,68 \text{ cm}$$

Se trabajará con $D_3 = 7,87''$ o 20 cm

Finalmente se muestra:

Espesores de las capas del pavimento (Método AASHTO)

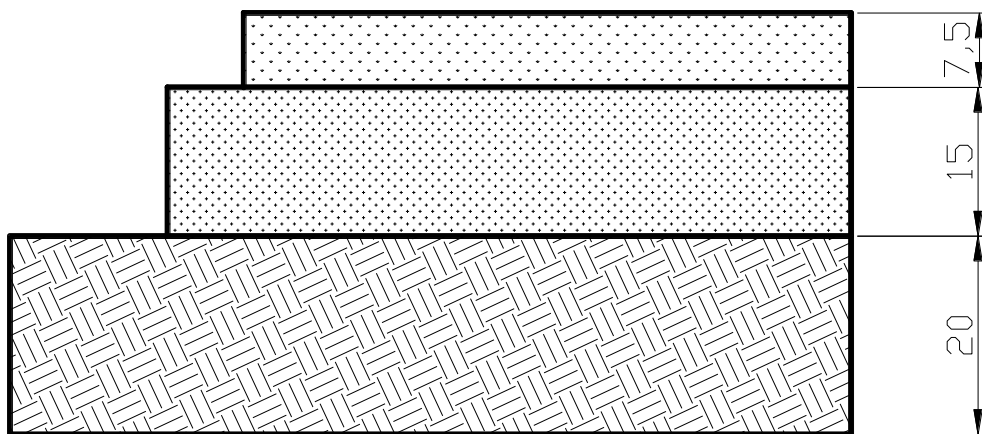


Figura n° 14 Esquema de capas de pavimento flexible del camino municipal

3.15 Análisis de Resultado.-

Los resultados obtenidos con pequeñas variaciones, que son debidas a la transformación a diferentes medidas de resistencia de las capas, el espesor de la carpeta de concreto asfáltico se define como 7,5 cm, que está dentro de las recomendaciones de espesores de carpeta para vías de tráfico pesado; la capa subbase se toma como 15 cm que es la dimensión mínima

constructiva, y finalmente la capa subbase se adopta como un valor de 20 cm de espesor, para su construcción y seguridad el paquete estructural del pavimento flexible es el siguiente:

Carpeta de Concreto Asfáltico	=	10 cm
Capa Base	=	20 cm
Capa Subbase	=	30 cm
Mejoramiento de Subrasante	=	15 cm

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El diseño estructural de pavimentos se realiza para dimensionar los espesores de cada capa que conforma el paquete estructural de una carretera. Se busca una combinación de capas que sean técnica y económicamente viables para el camino municipal que cumplan las especificaciones técnicas del mismo.

Existen varios métodos empíricos y analíticos para el diseño de pavimentos flexibles pero todavía en nuestro país no se ha tomado un método que sea único para el diseño de carreteras y tampoco hay un método universal, pero se debe ir mediante experiencias y estudios científicos que estos métodos se ajusten para ser aplicados en cualquier país.

En nuestro país generalmente el diseño de pavimentos flexibles se realiza con el método AASHTO pero los parámetros de este método es producto de ensayos y estudios realizados a una carretera experimental tipo realizada en EE.UU.

En la práctica para el diseño de pavimentos si se quiere realizar un buen diseño estructural del pavimento flexible se suele tropezar con una serie de inconvenientes como ser la falta de datos históricos de tráfico, falta de ensayos de laboratorio, etc. Por lo que se suele recurrir a ecuaciones empíricas y valores recomendados según experiencias obtenidas.

4.2. RECOMENDACIONES

Para el diseño de pavimentos flexibles se recomienda seguir una secuencia de los procedimientos de cálculo del Método AASHTO.

Siempre es importante determinar los parámetros de diseño con las características de la zona de estudio, mucho depende consultar de la experiencia de ingenieros que diseñaron y

construyeron vías con pavimento flexible para no recurrir a las ecuaciones empíricas o adoptar algunos valores que no sea posible determinar.

Si bien mediante la tecnología se facilitaron los cálculos y nos ahorramos tiempo es importante recomendar que antes de usar cualquier Software se debe realizar un amplio análisis sobre la metodología y procedimiento de cálculo para usarlo como una herramienta de diseño.

Por último podemos decir que no existe ningún método que sea recomendado para el diseño de pavimentos flexibles en nuestro medio por lo que se puede usar cualquier método de diseño siempre y cuando se tenga una buena información de datos y una buena metodología de cálculo.