

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

La ingeniería se encuentra en constante evolución, tanto así que se han incluido nuevos conceptos, tanto en el diseño (dimensionamiento), construcción y mantenimiento en los pavimentos.

La construcción de las vías de comunicación son una necesidad básica para proveer a una sociedad de un flujo de mercaderías y servicios a lo largo de un área, permite el desarrollo de una sociedad, el mejoramiento en la calidad de vida ayuda a llenar las necesidades básicas de las comunidades rurales; se necesita para la protección y producción de recursos y proveer el nexo necesario para el desarrollo.

En el departamento de Tarija recién en los últimos años se ha introducido la pavimentación mediante losas de concreto hidráulico lo cual viene a tener gran relevancia en el crecimiento tecnológico de las redes viales de nuestro departamento, aunque este tipo de pavimentación solo se aplicó en ciudades capitales de las provincias tales como: Tarija, Bermejo, Entre Ríos, Yacuiba y Villamontes, pero solo dentro del radio urbano y tramos de camino municipal.

La realización de este proyecto nos permitirá conocer métodos de diseño geométrico y estructural. En el cual se refiere al trazo y construcción del paquete estructural para un pavimento rígido, así como todas las especificaciones necesarias para poder cumplir con los requisitos de la administradora boliviana de caminos (ABC), también se describirán las consideraciones físicas y geográficas, que intervienen en el diseño y construcción, los cuales varían de acuerdo a las características del lugar, suelo y condiciones climatológicas. El presente trabajo propone realizar el “DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA PAVIMENTO RÍGIDO BARRIO BANDA MEALLA ENTRE RÍOS” que se desarrolla en la provincia Burnet O'Connor del departamento de Tarija en el municipio de Entre Ríos, tiene una longitud de proyecto de 7.73 km en una zona urbana de potencial crecimiento en este municipio. El barrio Banda Mealla fundado en estos últimos años con la idea de descentralizar el pueblo y el necesario crecimiento de la mancha urbana. Esta localizado orillas del Río Pajonal en una extensión aproximada de 0.60 km<sup>2</sup>.

Iniciando con la introducción del tema en cuestión, continuando con el planteamiento del problema, los objetivos que se pretenden alcanzar al desarrollar la guía, los alcances y limitaciones que se tienen, etc.

## **1.1. JUSTIFICACIÓN**

El crecimiento de la demografía en la provincia O'Connor del departamento de Tarija da lugar a problemas que requieren una solución vial. Este proyecto que se pretende realizar nos dará una perspectiva de que soluciones se deberá tomar para la ejecución del mismo. Al ver las características inadecuadas de las vías del barrio Banda Mealla, siendo una zona urbana ubicada en el distrito 1, se ve la necesidad de un diseño final de ingeniería tomando en cuenta todos los estudios correspondientes para ser aplicado por el método de diseño AASHTO 93 para pavimento rígido y ver si cumple con los aspectos técnicos para lo cual es diseñado.

Cuando se desarrolle el diseño geométrico del tramo, en base al levantamiento topográfico del mismo y el estudio del tráfico para determinar las características geométricas de las vías urbanas.

El diseño final de ingeniería pavimento rígido barrio Banda Mealla abarca el diseño geométrico y estructural de todas las vías urbanas que abarca una longitud de 7.73 km del barrio en estudio.

En el barrio en estudio hay obras de gran envergadura como el Mercado Central y Coliseo municipal que necesitan una accesibilidad y comodidad para ser puestas en funcionamiento debido al crecimiento de la mancha urbana lo cual es de gran importancia en el municipio de Entre Ríos.

El diseño final ingeniería beneficiara a la institución pública como es el Gobierno Autónomo Municipal de Entre Ríos cuyo uso será aplicado en la licitación de construcción del pavimento rígido en el barrio Banda Mealla donde beneficiará a todos los vecinos de este barrio que está dentro de mancha urbana.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Situación problemática**

Por las características inadecuadas de los principales aspectos técnicos geométricos y estructurales como ser: plataforma, capa de rodadura, pendiente, drenaje de las vías del barrio Banda Mealla si hace un diseño final de ingeniería de pavimento rígido.

El deterioro a causa de lluvias afecta la plataforma estructuralmente generando intransitabilidad en las vías del barrio Banda Mealla.

Ante el mejoramiento de vías en el municipio de Entre Ríos es necesario que se genere los documentos técnicos necesarios para la pavimentación del barrio Banda Mealla donde se encuentran las nuevas infraestructuras municipales.

Si se llega a concretar la ejecución de construcción diseño final de ingeniería pavimento rígido del barrio Banda Mealla ubicado en el distrito 1, que beneficiará a la población en general con el desarrollo y el crecimiento del municipio en Entre Ríos de la provincia O'Connor del departamento de Tarija.

### **1.2.2. Problema**

¿De qué manera, la falta de pavimento rígido para las vías urbanas del barrio Banda Mealla afecta en su desarrollo y crecimiento de la población, ubicado en la provincia O'Connor del departamento de Tarija?.

## **1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar un diseño final de ingeniería de pavimento rígido en el barrio Banda Mealla Entre Ríos, utilizando metodología de dimensionamiento y normas vigentes en el proyecto, con el fin de mejorar el funcionamiento para las condiciones óptimas de transitabilidad del pavimento rígido.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Establecer los aspectos sobre el pavimento rígido, desde su conceptualización, características, propiedades y proceso de ejecución que son aplicables en nuestro medio.

- Realizar el estudio topográfico del barrio Banda Mealla de Entre Ríos de la provincia O'Connor.
- Estudiar los conceptos fundamentales de volumen de tráfico, para posteriormente realizar el aforo manual del tráfico vehicular que transitará por las vías urbanas del barrio en estudio.
- Determinar las características y propiedades que debe cumplir el suelo de la capa subrasante, para la utilización de la metodología de dimensionamiento del proyecto en estudio.
- Realizar la validación de la caracterización de los materiales que deberán cumplir las estructuras de una carpeta de rodadura del pavimento de concreto.
- Diseñar la estructura del pavimento rígido utilizando el método empírico, con la aplicación del software DarWin 3.0 (AASHTO 93), los diseños geométricos, de drenaje y estructuras secundarias.
- Ejecutar el diseño de drenaje pluvial para las vías urbanas del barrio Banda Mealla en estudio.
- Efectuar la señalización de las vías urbanas del barrio Banda Mealla.
- Definir las especificaciones técnicas para el procedimiento de construcción de cada ítem.
- Elaborar los cómputos métricos por ítems de todas las actividades desarrolladas en el diseño.
- Hacer el presupuesto general del diseño, desglosando sus precios unitarios.
- Establecer conclusiones y recomendaciones producto del diseño final de ingeniería pavimento rígido barrio Banda Mealla.

#### **1.4. ALCANCE**

El alcance del presente trabajo está referido a: “**DISEÑO FINAL DE INGENIERÍA PAVIMENTO RÍGIDO BARRIO BANDA MEALLA ENTRE RÍOS**”, tiene como finalidad recolectar toda la información necesaria y procesarla para poder identificar parámetros de diseño de pavimento rígido, a la vez también realizar un estudio concreto que permita la identificación de factores que tiene el diseño final de ingeniería. Se aplicará datos técnicos para el diseño del pavimento rígido en una zona urbana recolectando dichos datos con diferentes estudios previos como ser: topográficos, suelos, hidrológicos y de

tráfico, lo cual nos permita realizar un diseño del pavimento rígido y un análisis técnico-económico que defina la optimización en términos de viabilidad y factibilidad, de la propuesta con lo cual se pueda llegar a establecer las respectivas conclusiones y recomendaciones del diseño en el lugar de emplazamiento de la obra (Barrio Banda Mealla).

Es importante una buena descripción del Proyecto, servirá de base para el conocimiento general sobre el problema, los objetivos y las metas que pretende el proyecto para solucionar tal situación problemática. Se realizará la recopilación de información sobre el tema del proyecto y las incidencias del mismo ocurrido en el barrio Banda Mealla municipio de Entre Ríos.

En la ingeniería del proyecto se procederá con el reconocimiento general de la zona de proyecto para establecer los parámetros que se requiere en el diseño de pavimento rígido para el barrio.

## **1.5. Métodos y técnicas empleados**

### **1.5.1. Métodos**

Para la elaboración de este proyecto se realizarán los siguientes estudios:

Estudio Topográfico. - Los levantamientos topográficos, hoy en día se los realiza de manera muy precisa, gracias al apoyo de la tecnología avanzada como es el Sistema de Posicionamiento Global GPS, que nos permite determinar la posición de puntos sobre la superficie terrestre con bastante precisión.

El trabajo Topográfico inicia con el reconocimiento topográfico en campo, con el fin de orientar y definir la metodología de los trabajos topográficos para el estudio “Diseño final de ingeniería de pavimento rígido barrio Banda Mealla Entre Ríos” Conociendo las características de la zona del Proyecto, identificando Puntos de Control primarios tales como: estados de calles, calles aperturadas, etc.

Los equipos a utilizados para la ejecución del presente proyecto son los siguientes:

Estación Total SOKKIA SET630RK

GPS Garmin

Software: AutoCAD, Civil 3D

Programa Auto Cad y los pasos empleados durante el trabajo son los siguientes:

Ordenamiento de los archivos de datos de campo, mediante la agrupación de los puntos.  
Verificación inicial de la corrección de las coordenadas y cotas de referencia introducidas en campo al iniciar cada levantamiento.

Lectura de los datos en el software y definición de las “líneas de corte” para ayudar en la interpretación de datos para la generación del modelo digital. Esta línea de corte corresponde a características lineales del terreno.

Interpolación de las Curvas de Nivel de terreno a partir de la Red de Triangulación y de las Coordenadas de cada vértice de la Red con el programa Auto Cad.

Dibujo de Curvas de Nivel basándose en la Red de Triangulación, con intervalos de las curvas índice cada 5 metro y 1 metro en las intermedias.

Preparación de planos topográficos correctos para su utilización.

Estudio de suelos. - Dentro del diseño de pavimento rígido uno de los aspectos más importantes es el estudio de suelos esto nos da los datos necesarios para el diseño de espesor de la capa de pavimento, el muestreo e identificación de materiales de la sub rasante implica técnicas complejas acompañadas de procedimientos de diferentes ensayos de laboratorio para determinar las condiciones físicas del suelo.

Se establecerá los puntos de muestreo de campo en las principales calles del barrio Banda Mealla tomando muestras de 40 kilos por punto para todos los ensayos de laboratorio requeridos para el proyecto.

A partir de dichos puntos, se definirá un conteo detallado de todas muestras etiquetando cada muestra con un punto determinado en campo.

Las muestras recolectadas han sido enviadas al laboratorio para la ejecución de los correspondientes ensayos físico-mecánicos es decir granulometrías, límites de Atterberg, compactación y CBR. Utilizando el método AASTHO para la clasificación de los suelos.

Estudio de Tráfico. - Dada la importancia que tiene la variable tránsito en el diseño del espesor final de la losa de concreto, resulta conveniente caracterizarla correctamente determinando:

Composición vehicular del tránsito a nivel del área de estudio de acuerdo a las diferentes categorías de las vías según los rangos de TPDS.

Tasa de crecimiento geométrico del tránsito

Espectro de carga para cada eje de cada tipo de camión.

El tránsito de diseño para cada categoría vial.

Se establecerá los puntos de aforo estratégicos, de buena visibilidad para el trabajo de campo en las principales calles del barrio Banda Mealla que cuenten con una significativa afluencia de tráfico.

A partir de dichos puntos, se realizará un conteo detallado de todos los vehículos que pasen por estas vías resaltando el sentido y el tipo de vehículo.

Con la ayuda de planillas ajustadas para el aforo se llevará el conteo de los vehículos que transiten en horarios establecidos para el estudio que será en horas pico que serán muestras representativas del aforo.

Los aforos se desarrollarán durante un periodo de tiempo estimado de una semana completa de lunes a domingo en horas pico determinadas para este estudio que son de 7 a 9 horas, 11 a 13 horas y 17 a 19 horas.

A la conclusión de los trabajos de campo de este proyecto se verificará todos los detalles especialmente sobre la revisión y/o chequeo de los datos descargados en el computador con las planillas de apunte diario, así mismo se efectuará el resumen y cálculo velocidades de diseño, las planillas digitales, para cumplir con los requisitos exigidos en cuanto a tolerancias y precisiones, el estudio de tráfico nos servirá para efectuar el diseño del paquete estructural.

Diseño del paquete estructural. - El diseño del pavimento se lo realizó adoptando la norma americana AASHTO. Donde se plantean alternativas como tratamiento superficial y pavimento flexible. Además, se diseñan los espesores de la capa subbase, capas base y capa de rodadura.

Cómputos métricos. - Se realizará los cómputos métricos para determinar las cantidades de los materiales y los volúmenes de obra.

Precio unitario y presupuesto. - El análisis de precios unitarios se efectúa tomando en cuenta las incidencias correspondientes para luego sacar el presupuesto general de la obra.

### **1.5.2. Técnicas**

Las técnicas realizadas serán manuales y observacionales (tanto para la recolección de muestras) e intelectuales (para la aplicación de programas que servirá para el diseño geométrico, estructural y precios).



El proyecto está rígidamente sometido a las normas técnicas, el diseño y los costos, se debe acomodar según los objetivos y resultados que se pretenden lograr con el proyecto. Para realizar el diseño, analizar los costos y para lograr el mejor proyecto, se realiza un estudio de campo, en el que se determinara el proceso que debe seguir el mismo.

Los cálculos para cada uno de los componentes del proyecto están estructurados según la obra que se realiza y según estudios realizados. Por otro lado, el material a utilizar en la construcción y los costos se detallan en el análisis de precios unitarios.

Las especificaciones técnicas para cada componente están de acuerdo al diseño que exige el proyecto. Cada componente se detalla y se explicará en qué consistirá y qué es lo que se hará en cada uno de ellos.

Toda infraestructura del proyecto está basada en las normas técnicas vigentes en el País para este tipo de construcciones; en estudios y diseños que exige este tipo de proyecto, como así mismo en los reglamentos establecidos para la implementación y construcción del mismo.

**CAPÍTULO II**  
**INGENIERÍA DEL PROYECTO**

## **CAPÍTULO II**

### **INGENIERÍA DEL PROYECTO**

La vía es una infraestructura de transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o dos sentidos de circulación, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma. Igualmente, está conformada por una estructura de pavimento capaz de soportar las cargas impuestas por el tránsito y los efectos ambientales. En este capítulo se presentarán las generalidades de las vías locales y de cada una de las estructuras de pavimentos a tratar en esta Guía.<sup>1</sup>

#### **2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS**

Pavimento es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de vehículos, el intemperismo producido por los agentes naturales y cualquier otro agente perjudicial. Estructuralmente un pavimento tiene la función de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que ésta no se deforme de manera perjudicial.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas: ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con la llanta; en segundo lugar, debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes y que garanticen un tráfico en buenas condiciones.

##### **2.1.1. Tipos de pavimentos**

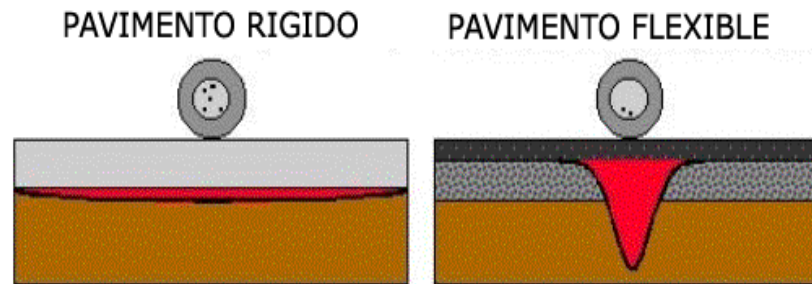
En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

---

<sup>1</sup> Guía “Diseño de pavimentos para bajo volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.”

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

**Figura 2.1** Tipos de pavimento



Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) Y DIPAV–2

### 2.1.2. Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico (mezcla de cemento portland y agregado fino y grueso), con recubrimiento bituminoso o sin él, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado (grava y arena).

El espesor del pavimento puede variar de 15 a 45 cm, dependiendo del volumen de tráfico que deba soportar.

Los concretos usados son de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 210 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg /cm<sup>2</sup> a los 28 días. En general, se usa concreto simple y, ocasionalmente, reforzado. Las losas de concreto simple son de dimensiones pequeñas, del orden de 4 metros a 8 metros; estas dimensiones aumentan al usar algún refuerzo y llegan a los 100 metros en concretos presforzados. Los espesores usados para las losas son del mismo orden usando o no refuerzo. Cuando este pavimento se construye en forma adecuada y se controlan las exigencias de calidad tienen larga vida y un costo de mantenimiento relativamente bajo.

Por consiguiente, el pavimento tiene las siguientes funciones:

- Proporcionar una superficie de rodamiento seguro, cómodo y de características permanentes ante las cargas del tránsito a lo largo del tiempo de diseño, o ciclo de vida.
- Durante este periodo debe haber tan sólo algunas acciones esporádicas de conservación o mantenimientos locales, de poca magnitud en importancia y costo.
- Resistir las solicitaciones del tránsito previsto durante la vida de diseño y distribuir

las presiones verticales ejercidas por las cargas, de tal forma que sólo llegue a la capa subrasante una pequeña fracción compatible con su capacidad de resistencia.

- Construir una estructura que resista los factores climatológicos, como son temperatura y agua, por ser los más adversos en el comportamiento del pavimento y de los suelos de cimentación.<sup>2</sup>

**Para la elección de pavimento rígido se toma en cuenta los siguientes parámetros:**

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

**Costo de Operación de la Carretera:** Los pavimentos de hormigón al tener una superficie plana alargan la vida de los vehículos, evitando que se dañen y minimizando su mantenimiento. El costo de consumo de combustible se reduce hasta en un 20% para camiones tipo tráiler.

**Costo Social de Mantenimiento:** Para el recapado periódico de los pavimentos de asfalto, se requiere ejecutar desvíos que perjudican a vecinos y usuarios. En las construcciones con hormigón se minimizan estos aspectos.

**Fuga de divisas:** Los asfaltos de uso vial en Bolivia son importados, originando una fuga de divisas. Se puede conseguir mejores resultados con materiales nacionales, movilizand o nuestra economía y generando fuentes de trabajo.

**Facilidad de Construcción:** Las plantas dosificadoras – mezcladoras de hormigón junto al uso de pavimentadoras deslizantes reducen significativamente los costos de construcción. En pavimentos urbanos se puede usar equipos pequeños y encofrados fijos al alcance de cualquier contratista.

**Durabilidad:** Las superficies de hormigón duran más. Estadísticamente se ha demostrado que las carreteras de hormigón han soportado hasta tres veces su capacidad de carga de

---

<sup>2</sup> Fuente: I.C.B.H. (Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) Y DIPAV–2

diseño y en pavimentos de aeropuertos el doble. El hormigón incrementa su resistencia con el tiempo.

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

**Resistencia a altas temperaturas:** El hormigón no es afectado por el calor, no se vuelve pegajoso, ni se volatilizan algunos de sus ingredientes (no es contaminante). En zonas calurosas, (especialmente en áreas urbanas) se mantiene fresco, reduciendo la temperatura del entorno.

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

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

**Drenaje:** Al no deformarse ni encharcarse las superficies de concreto proporcionan un buen drenaje superficial para el agua de lluvia.

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

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

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

**Economía en Iluminación:** La superficie clara de hormigón es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se puede ahorrar hasta un 30% de energía y se brinda mayor seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos reflejan mejor la luz en el hormigón. Rapidez de puesta en obra: Con el hormigón se pueden alcanzar altas resistencias en cuestión de horas. La resistencia del hormigón se puede predecir y controlar con mayor facilidad.

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

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

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

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

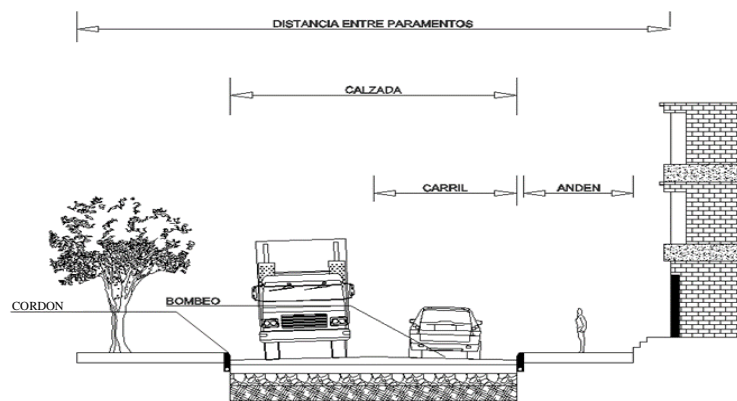
**Señalización:** Todo tipo de marcas, pinturas y señalamientos duran más cuando se colocan sobre hormigón.

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

### 2.1.3. Aspectos geométricos

Las características geométricas de la vía dependen de su jerarquía y de los requerimientos urbanísticos y la armonía con las zonas existentes. A continuación, se presentan las características geométricas de una vía urbana (Figura 2.2) y los conceptos más importantes:

**Figura 2.2** Características geométricas de una vía urbana



Fuente: Guía “Diseño de pavimentos para bajo volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.”

**Calzada:** Superficie acondicionada de la vía destinada a la circulación de los vehículos, constituida por uno, dos o más carriles.

**Carril:** Subdivisión o banda de la calzada que permite la circulación de una fila de vehículos.

**Cunetas:** Canales que se ubican a los lados de la corona de la vía y paralelamente al eje longitudinal de la misma. El objetivo de esta estructura es recibir y evacuar el agua superficial proveniente del talud y de la superficie de rodamiento, evitando que esta se acumule sobre la estructura del pavimento. En vías locales urbanas se pueden remplazar por el bombeo y la colocación de sumideros o sistemas de drenaje, tales como: drenajes de ranura, cunetas-cordon y sistemas combinados bordillo- drenaje.

**Berma:** Zona aledaña a la superficie de rodamiento y que tiene como función principal proporcionar un espacio adecuado para la detención de vehículos de emergencia.

**Paramento:** Plano vertical que delimita la fachada de un inmueble sobre un área pública o privada.

**Cordón:** Se define como el elemento (generalmente de concreto) que delimita la superficie de la calzada, el andén o cualquier otra superficie de uso diferente en una vía.

### **2.1.3.1. Características geométricas de la vía**

#### **a) Ancho de carril**

Banda longitudinal en que puede subdividirse la calzada, caracterizada por tener una anchura suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos. Los carriles suelen materializarse en el pavimento mediante marcas viales, siendo su anchura estándar es de 3,50 m; si ésta es inferior a 3m., el carril se denomina estrecho.

#### **b) Radio de giro**

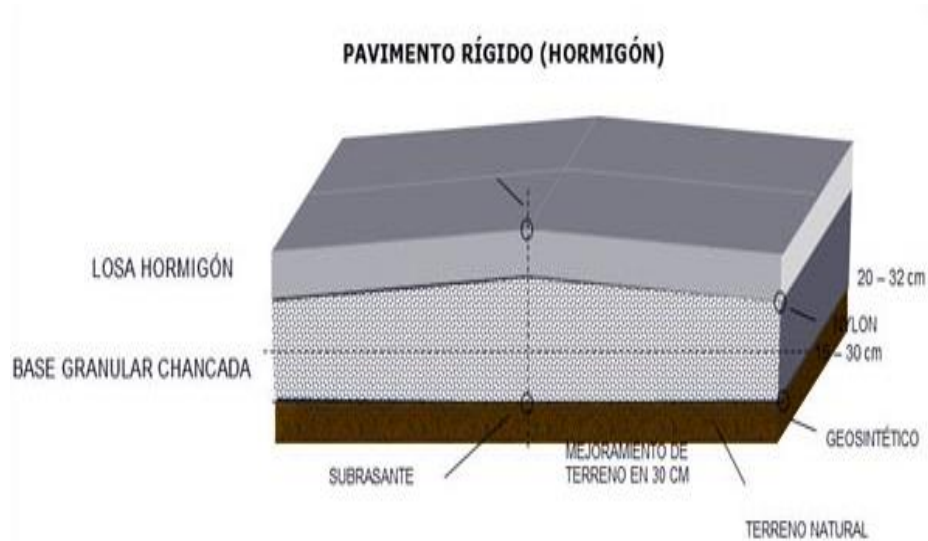
Se define como el correspondiente a circunferencia descrita por la rueda delantera del lado contrario a aquél hacia donde se gira. Este radio, o su correspondiente diámetro, es el que indican los fabricantes en sus catálogos, ya que permite conocer el espacio que requiere un vehículo para cambiar el sentido de la marcha mediante un giro de 180° sin efectuar ninguna clase de maniobra.



#### 2.1.4. Elementos que constituyen el pavimento rígido

Una estructura de pavimento está conformada por diferentes capas de materiales que garantizan la funcionalidad de esta ante el paso de cargas de tránsito y efectos ambientales. Esto es, que debe resistir las sollicitaciones mecánicas generadas por el paso de las cargas impuestas por el tránsito y garantizar un nivel de servicio durante un periodo de diseño, de tal manera que no se ponga en riesgo la seguridad y comodidad de los usuarios.

**Figura 2.3** Elementos que constituyen el pavimento



Fuente: Pavimentosrigidos.blogspot.com

##### 2.1.4.1. Capa subrasante

La subrasante se define como el estrato conformado por el suelo natural sin ningún tipo de tratamiento o proceso mecánico y se asume de espesor semi-infinito. La capacidad portante de la subrasante está asociada a las propiedades intrínsecas del suelo y a las condiciones hídricas más desfavorables durante la vida útil de servicio de una estructura de pavimento. Adicionalmente, debe ser evaluada utilizando cualquiera de las técnicas normalizadas de uso habitual en la ingeniería.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que esta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad.

En el caso de presentar suelo natural conformado por suelos finos y plásticos como CL, MH, CH, CL-ML, con límite líquido entre 50 y 100% se analizará la necesidad de mejorarlos reduciendo su límite líquido para mejorar así el índice de plasticidad.

Si el suelo natural está conformado por suelos MH, CH, y OH con límite líquido de 100% será remplazado por material de préstamo en su espesor mínimo de 30cm.

Las funciones que debe cumplir son:

- Constituye la capa superior de la terracería.
- Absorber las cargas que la transmiten la sub-base y transmitir las a un nivel adecuado al cuerpo del terraplén.
- Absorber cambios volumétricos de las capas inferiores.
- Constituye el elemento de apoyo del pavimento.
- Resiste los esfuerzos transmitidos en condiciones severas de humedad.

#### **2.1.4.2. Capa sub-base**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub-base adecuada.

Las funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia del material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

#### **2.1.4.3. Capa de rodadura**

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

Un pavimento rígido se halla constituido por un elemento estructural fundamental una losa de concreto; debido a la rigidez que presenta esta losa, esta clase de pavimentos no requieren al menos desde un punto de vista teórico apoyarse sobre una explanada o capa de elevada capacidad de soporte.

Normalmente el espesor de la losa puede partir de unos 15 cm. para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de 40 cm. en el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con resistencias a la tensión no inferiores a 3.5 MPa y muy comúnmente de 4.0 Mpa o más.

El hormigón de tipo vibrado utilizado para trabajos de pavimentación debe satisfacer ciertas características muy particulares, que marcan diferencias con respecto a los hormigones utilizados en otro tipo de obras, por lo que puede clasificarse como un hormigón de alto comportamiento.

Los objetivos que se busca son:

- Su trabajabilidad para su colocado fácilmente.

- Resistencia y durabilidad satisfactoria.
- El logro de mezcla competitiva a costos los más bajos posibles.

Dentro de las actividades de control que se debe poner atención en la ejecución de losa de hormigón, podemos mencionar las más importantes:

Verificación previa de la calidad y consolidación de los materiales que componen las capas de transición o de apoyo.

Evaluación y aceptación de los materiales que conformaran el hormigón, respaldados mediante certificados de calidad y abalados por ensayos físico-químicos de un laboratorio de materiales.

Verificación y oportuna corrección al diseño y dosificación de la mezcla.

Control del transporte, colocación, vibrado, terminado y curado de la losa de hormigón.

## **2.2. DISEÑO DE JUNTAS EN PAVIMENTOS**

Los sistemas de juntas para pavimentos de concreto en carreteras tienen el fin de mantener las tensiones que soporta el pavimento de hormigón dentro de los límites admisibles, previniendo la formación de fisuras y grietas irregulares.

- Las juntas controlan el agrietamiento transversal y longitudinal inducido por contracción confinada y por los efectos combinados de ondulación confinada, alabeo confinado, y cargas aplicadas.
- Dividen el pavimento en módulos de construcción prácticos.
- Absorben los movimientos de las losas y proporcionan la transferencia de carga deseada.

En los pavimentos de concreto se colocan juntas de distintos tipos, para limitar los esfuerzos inducidos por cambios de temperatura y para facilitar la unión correcta de dos secciones adyacentes de pavimento.

Para ello existen cuatro tipos juntas para pavimento de concreto:

### **2.2.1. Juntas longitudinales**

Las juntas longitudinales son aquellas que se construyen paralelas al eje del camino con el fin de permitir los movimientos relativos de las diversas losas. La junta divide por ejemplo un pavimento de dos carriles en dos secciones, siendo la anchura de cada uno la de un carril.

El propósito de las juntas longitudinales es simplemente el de controlar la magnitud de los esfuerzos del alabeo por temperatura en forma tal que no se presente un agrietamiento longitudinal en el pavimento.

La construcción de juntas longitudinales en los pavimentos de concreto ha eliminado casi por completo este tipo de grietas. En los pavimentos de dos carriles, por lo general, las dos losas se juntan por medio de barras de acero de enlace (pasajunta) que se extienden en forma transversal a través de la junta y que se espacian a determinados intervalos a lo largo de la longitud de la junta. El propósito de las barras de enlace en una junta longitudinal es el de impedir el movimiento de una losa con respecto a la otra, ya que la junta además de cumplir con la función de aligerar los esfuerzos provocados por el alabeo por temperatura sirve para transmitir una parte de la carga que soporta una losa a la otra, con lo que se reducen los esfuerzos en la losa cargada.

Las juntas longitudinales que se usan en los pavimentos de concreto son de tipos diferentes.

El más comúnmente usado es el tipo macho y hembra que se muestra a continuación:

**Figura 2.4** Junta tipo macho y hembra.



Fuente: Tomado del artículo “Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la American concrete association (ACPA).

Sin embargo, en muchas ocasiones conviene pavimentar en una sola operación la anchura correspondiente a dos carriles, dividiéndola en seguida mediante una junta longitudinal de ranura del tipo similar a alguno de los cuales se muestra a continuación:

**Figura 2.5** Junta de ranura o plano debilitado.



Fuente: Tomado del artículo “Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la American concrete association (ACPA)

### **2.2.2. Juntas transversales de contracción**

Las juntas transversales de contracción se usan con dos propósitos para controlar las grietas de la losa que resultan de la contracción y para relajar los esfuerzos provocados por el alabeo. Cuando se presenta la contracción, se fractura la parte inferior de la losa en el plano debilitado y las clavijas y el entrelazamiento del agregado mantienen la integridad estructural de la junta.

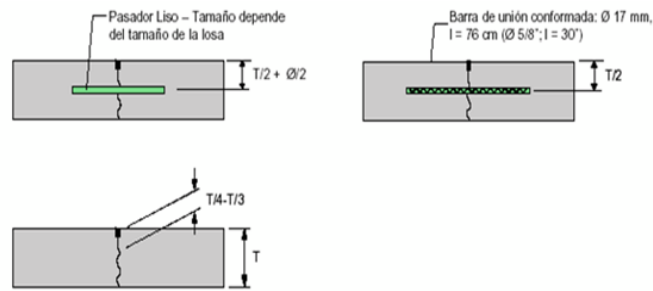
Para pavimentos de concreto simple, las juntas de contracción deben estar suficientemente juntas para controlar las rupturas.

El espaciamiento depende de la experiencia local y, con frecuencia es de 4,50 y 6,00 metros. Si el espaciamiento es superior a los 6 metros, se recomienda que en las juntas se utilicen dispositivos de transferencia de carga (pasadores).

La necesidad de colocar en las juntas transversales elementos para transferencias de carga (pasadores), depende de las condiciones de la subrasante y del tránsito que llevará el pavimento. Los pasadores no son necesarios en calles de tránsito liviano, pero sí son necesarios con el tránsito es fluido y pesado.

La armadura en la losa tiene por único fin mantener unidos los bordes de cualquier grieta que eventualmente pudiera producirse.

**Figura 2.6** Tipos de juntas de contracción.



Fuente: Tomado del artículo “Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la American concrete association (ACPA)

Para determinar el espaciamiento L de las juntas transversales de contracción se realiza por la siguiente ecuación:

$$S_2 = \frac{a * h * \frac{1}{2} * f * y}{a * h} = \frac{L * y * f}{2}$$

Donde:

a = Ancho de la Losa en metros.

h = Espesor de la Losa en metros.

L = Longitud de la losa en metros.

f = Coeficiente de fricción entre el suelo y el concreto, varía de 0.5 a 2.5. Se usa 2.

y = Peso volumétrico del concreto en  $Tn/m^3$ .

$S_2$  = Esfuerzo de tensión del concreto =  $(2/3) * 42Tn/m$ .

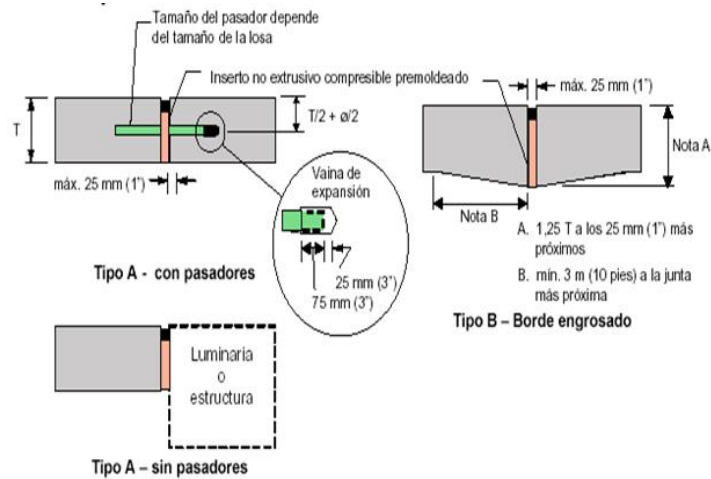
### 2.2.3. Juntas transversales de expansión

Su objeto es disminuir las tensiones de compresión, proveyendo un espacio entre losas, son de  $3/4''$  a  $1''$  y atraviesan todo el espesor de la losa, que permite el movimiento del pavimento cuando se expande.

El espacio de la junta se rellena con algún material compresible, elástico y que no haya sufrido extrusión. Por lo regular, las clavijas se usan en juntas de expansión y su diámetro, espaciamiento y longitud serán en general similares a los indicados para las juntas de contracción. Las clavijas deben adecuarse para realizar su función de transferencia de

carga y deben diseñarse y colocarse de tal manera que no interfieran con el funcionamiento apropiado de la junta.

**Figura 2.7** Junta de expansión típica.



Fuente: Tomado del artículo “Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la American concrete association (ACPA).

Los estudios teóricos y la experiencia demuestran con excepción de su colocación frente a estructuras existentes y en intersecciones irregulares, las juntas de expansión no son necesarias en los pavimentos de hormigón, así:

- Los agregados empleados tienen características normales de expansión.
- La construcción tiene lugar con temperaturas normales.
- Las juntas de contracción se ubican a intervalos que controlen el agrietamiento transversal o las juntas de contracción se mantienen perfectamente selladas para impedir la infiltración de materiales incomprensibles.

Si el pavimento se construye en invierno con bajas temperaturas o si los agregados empleados son normalmente expansivos se colocarán juntas de expansión a distancias de 180 a 240m. En condiciones normales, salvo las excepciones citadas anteriormente, debe prescindirse del uso de las juntas de expansión.

En muchos países ya no se usan juntas de expansión por la incapacidad que tiene el mecanismo de transferencia de carga, para transferirla en forma adecuada.



#### 2.2.4. Juntas transversales de construcción

Un tipo adicional de junta que se puede utilizar en un pavimento de concreto es la llamada “junta de construcción”.

Las juntas de construcción transversales se pueden colocar al final del trabajo de un día o cuando el trabajo cesa debido a alguna otra causa. Si se detiene la construcción en la colocación de una junta transversal, la junta se puede instalar de manera usual, colocando concreto en uno de los lados de la junta y el otro lado protegido en forma apropiada, hasta que puedan continuarse las operaciones de construcción.

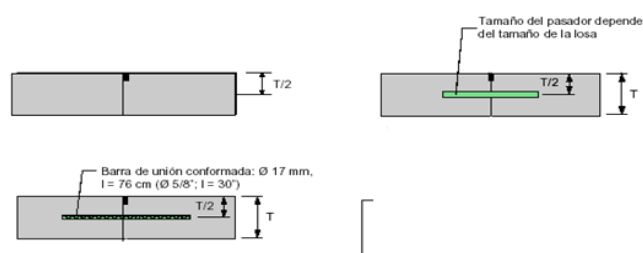
Si una junta de contracción transversal cae dentro del tercer medio del intervalo regular de la junta, se hará una junta con enlace.

Esto evita que la junta se abra y que posiblemente cause agrietamiento del pavimento en el carril adyacente.

Las juntas de construcción longitudinal se pueden hacer de forma similar cuando por ejemplo, el pavimento se construye con el ancho de un carril. Las juntas de este tipo se pueden formar también utilizando cimbras de acero que incorporan un cuñero o fijándose mediante una tira machihembrada o de metal en el lado interior de las cimbras; las barras de enlace pueden doblarse o utilizarse pernos de enlace.

El detalle de estas juntas de construcción se muestra a continuación:

**Figura 2.8** Tipos de juntas de construcción.



Fuente: Tomado del artículo “Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la American concrete association (ACPA).

#### 2.2.5. Barras de pasajuntas

Estas barras son verdaderos dispositivos mecánicos para transferir cargas a través de las juntas transversales, permitiendo que las juntas puedan abrir y cerrar, pero manteniendo las losas a la misma altura, ellas deben formarse con varias barras lisas redondas en las

que un extremo de cada varilla debe estar engrasado o pintado para evitar su adherencia al concreto. Recientes experiencias han demostrado que la longitud de las varillas pasajuntas debe estar comprendida entre 30 y 40 cm de tal manera que penetren a 15 a 20 cm en cada una de las losas. La separación entre una barra pasador-extrema y el borde libre de pavimento estará comprendida entre 22.5 y 10 cm.

Las varillas pasajuntas transversales son de acero liso las cuales un lado se engrasa.

Existe una regla práctica que permite efectuar de forma rápida y aproximada el cálculo de las dimensiones de los pasajuntas. Esta regla cuando la separación entre barras es de 30 cm, el diámetro de estas es aproximadamente  $1/8$  del espesor de la losa. Su longitud es de 40 cm en juntas de contracción y 50 cm en juntas de expansión.<sup>3</sup>

**Figura 2.9** Barras de pasajuntas.



Fuente: Pavimentosrigidos.blogspot.com

### **2.2.6. Barras de unión y pasadores**

Son las que se colocan a través de las juntas longitudinales para evitar la separación de sus bordes, manteniéndolos en íntimo contacto y asegurando una adecuada transferencia que produce la trabazón de los agregados del hormigón en la grieta que se forma debajo de la ranura practicada en la junta.

Estas barras son de acero corrugado para asegurar una buena adherencia con el hormigón.

Estos dispositivos se hacen de dos maneras, según el fin que con ella se persiga:

Si su objeto es el de mantener con ellos unidas las losas, soportarán nada más cargas axiales.

---

<sup>3</sup> Fuente: I.C.B.H. (Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93) Y DIPAV-2

En este caso el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para la fricción entre el pavimento y la subrasante o la sub-base, en la distancia comprendida entre la junta y el borde libre del pavimento en el caso de que los pasadores se coloquen en las juntas longitudinales; si los pasadores se colocan en las juntas transversales, la distancia a considerar será entonces aquella que separa a dichas juntas dividida entre dos (L/2).

Estas barras son verdaderos dispositivos mecánicos para transferir cargas a través de las juntas transversales, permitiendo que las juntas puedan abrir y cerrar, pero manteniendo las losas a la misma altura, ellas deben formarse con varias barras lisas redondas en las que un extremo de cada varilla debe estar engrasado o pintado para evitar su adherencia al concreto. Recientes experiencias han demostrado que la longitud de las varillas pasajuntas debe estar comprendida entre 30 y 40 cm.

La separación entre pasadores se tiene por la ecuación siguiente:

$$l \text{ (cm)} = \frac{(\pi * d^2 * F_s)}{4 * b * D * \gamma * f}$$

Donde:

l = Separación entre pasadores, en cm.

d = Diámetro, en cm. de la varilla usada como pasador.

F<sub>s</sub> =Esfuerzo de trabajo a tensión, en kg/cm<sup>2</sup>, del acero empleado como pasador.

a = Distancia, en cm. de la junta al borde del pavimento.

h = Espesor, en cm. de las losas.

y = Peso volumétrico del concreto en kg/cm<sup>3</sup>.

f = Coeficiente de fricción del concreto con la subrasante usualmente es 2.

Calculada la separación entre pasadores que de acuerdo con la experiencia debe ser inferior a 75 cm.

### **2.2.7. Sellos**

La performance a largo plazo de este tipo de sello depende de su capacidad de adhesión con la cara de la junta.

Los sellos líquidos pueden ser de asfalto, caucho colocado en caliente, compuesto elastoméricos, siliconas y polímeros.

Los materiales son colocados en las juntas en forma líquida, permitiéndoseles fraguar.

**Figura 2.10** Sello de juntas con maquinaria.



Fuente: “Tesis de diseño de pavimento rígido de Viviana Higuera Bonilla”.

**Figura 2.11** Sello de juntas manual.



Fuente: “Tesis de diseño de pavimento rígido de Viviana Higuera Bonilla”.

Cuando se instalan los sellos líquidos es necesario el uso de un cordón o varilla de respaldo, la cual no debe adherirse ni al concreto ni al sellador ya que si esto sucede se induce tensión en el mismo.

También ayuda a definir el factor de forma y a optimizar la cantidad de sello a usar. El diámetro del cordón debe ser 25 % más grande que el ancho del reservorio para asegurar un ajuste hermético.

El factor de forma (relación ancho/profundidad) del sellador es una consideración muy importante a tener en cuenta, ya que si éste no es el adecuado, se pueden generar esfuerzos excesivos dentro del sello que acorta la vida útil de éste.

Un sellador con un factor de forma inferior a uno desarrolla menos esfuerzos que un sellador con un factor de forma mayor a uno.

### **2.3. ESTUDIO GEOTÉCNICO**

Un estudio adecuado de suelo proporciona la información pertinente para decidir sobre uno o más de los siguientes puntos.

- Localización tanto vertical como horizontal de la obra propuesta
- Necesidad de técnicas especiales para la excavación y drenaje.
- Desarrollo de investigaciones subsuperficiales detalladas para estructuras específicas
- Necesidad de controlar problemas de construcción.

#### **2.3.1. Clasificación de suelos**

Debido a la gran variedad de suelos que pueden encontrarse en la corteza terrestre es que se han desarrollado varios sistemas de clasificación para poder identificarlos, elaborados de acuerdo con la aplicación que se les da a los mismos.

El clasificar un suelo consiste en agrupar al mismo en grupos y/o subgrupos de suelos que presentan un comportamiento semejante con propiedades ingenieriles similares.

Los métodos de clasificación más conocidos son: clasificación AASTHO y el Sistema de Clasificación Unificado USCS más utilizados por parte de los ingenieros de todo el mundo.

**El sistema de clasificación AASTHO**, (American Association of Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASTHO M145) está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y límite plástico.

El sistema de clasificación AASHTO clasifica a los suelos en ocho grupos principales, A-1 al A-8 en base a una distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino.

La turba, el lodo y otros suelos altamente orgánicos quedan clasificados en el grupo A-8. Estos son identificados por inspección visual.

Tabla de sistema de clasificación AASHTO en la siguiente hoja.

**Tabla 2.1** Sistema AASHTO de clasificación de suelos.

Sistema de clasificación AASHTO													
Clasificación	Materiales granulares (35% o menos del total pasa el tamiz N° 200)						Materiales limos arcillosos (más del 35% del total pasa el tamiz N° 200)						
Clasificación general	A - 1		A - 3	A - 2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7			
Sub-grupo	A - 1a	A - 1b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7			A - 7 - 5 A - 7 - 6			
Porcentaje de material que pasa tamiz N° 10	50 máx.			35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.						
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 min.										
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.								36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa el tamiz N° 40 LI				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.		
IP	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.		
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.		
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos				

Fuente:Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles".

Para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para subrasante de un camino, se desarrolló también un número denominado índice de grupo. Entre mayor es el valor del índice de grupo para un suelo, será menor el uso del suelo como subrasante.

Un índice de grupo de 20 o más indica un material muy podre para ser usado. La fórmula para índice de grupo (IG) es:

$$IG = (F_{200} - 35)[0,2 + 0,005 * (LL - 40)] + 0,01 * (F_{200} - 15) * (PI - 10)$$

Donde:

$F_{200}$  = Por ciento que pasa la malla no. 200, expresado como un Número entero

LL = Límite líquido

PI = Índice de plasticidad

Al calcular el índice de grupo para un suelo de los grupos A-2-6 o A-2-7, use solo la ecuación de índice de grupo parcial relativa al índice de plasticidad:

$$IG = 0,01 * (F_{200} - 15) * (PI - 10)$$

**El sistema de clasificación unificada USCS**, (Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado por A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema fue modificado en 1952 por el mismo autor.

El sistema está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, límite líquido e índice de plasticidad.

El método considera dividir en dos partes:

**El primer grupo** se encuentra las gravas, arenas o suelos gravosos arenosos con poco o nada de material fino (limo y arcilla), son designados de la siguiente manera:

G = Grava o suelo gravoso

S = Arena o suelo arenoso

W = Bien graduado

C = Arcilla inorgánica

P = Mal graduado

M = Limo inorgánico o arena fina

De acuerdo con esta simbología, se pueden agrupar de la siguiente manera, GW, SW, GP, SP, GM, SM, GC, SC.

**Segundo grupo**, Se encuentran los suelos finos, limosos o arcillosos, de baja o alta compresibilidad, son designados de la siguiente manera.

M = Limo inorgánico o arena muy fina

C = Arcilla

O = Limos, arcillas y mezclas con alto contenido de material orgánico

L = Baja a mediana compresibilidad (LL < 50%)

H = Alta compresibilidad ( $LL > 50\%$ )

Se pueden agrupar de esta manera CL, CH, ML, MH, OL, OH y grupos Pt.

### **2.3.2. Compactación T-180**

La compactación de los suelos consiste en el mejoramiento de las propiedades ingenieriles del suelo por medio de energía mecánica.

Proctor estableció que la compactación está en función de cuatro variables:

- Densidad del material,  $p_d$
- Contenido de humedad,  $w$
- Esfuerzo de compactación.
- Tipo de suelo (gradación, presencia de minerales de arcilla, etc.)

El esfuerzo de compactación es una medida de la energía mecánica aplicada a la masa del suelo.

Para la compactación en campo el esfuerzo de compactación es el número de pasadas de un rodillo de cierto tipo y peso en un volumen de suelo dado.

#### **2.3.2.1. Compactación proctor estándar**

En esta prueba el suelo es compactado en un molde que tenga un volumen de  $943,3 \text{ cm}^3$  ( $1/30 \text{ ft}^3$ ). El diámetro del molde es de 101,6 mm (4 plg) y 116,43 mm (4,584 plg) de altura, provisto de una extensión desmontable de igual diámetro y 50 mm (2 in) de altura. Durante la prueba de laboratorio, el molde puede fijarse a una base metálica con tornillos de mariposa.

El suelo se mezcla con cantidades de agua que varían y después es compactado en tres capas iguales por un pisón que aplica 25 golpes a cada capa. El pisón pesa 2,5 kg (5,5 lb) y tiene una caída de 304,8 mm (12 plg).

#### **2.3.2.2. Prueba proctor modificada**

Debido al rápido desarrollo en los equipos de compactación de campo, la energía de compactación en la prueba proctor estándar empezó a no lograr representar en forma adecuada las compactaciones mayores que podían lograrse con dicho nuevo equipo.

Esto condujo a una modificación en la prueba, aumentando la energía de compactación, de modo que conservando el número de golpes por capa se elevó el número de capas de 3 a



5, aumentando al mismo tiempo el peso del pisón y la altura de caída del mismo, siendo el molde el mismo que el de la prueba estándar.

La prueba proctor modificado es la más utilizada para la compactación en laboratorio, teniendo tres variantes en el método, que varían en función del porcentaje de tamaño de partículas presentes en la muestra de suelo. Este ensayo se aplica solamente a suelos con menos del 30 % en peso de partículas retenidas en el tamiz de 19 mm.

Las tres variantes en el método de compactación proctor modificado, varían en algunas especificaciones que se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2** Especificaciones técnicas para la prueba de compactación proctor según las especificaciones ASTM.

Características			Método		
			A	B	C
Molde	Volumen	cm <sup>3</sup>	944	944	2124
	Diámetro	mm	101.6	101.6	152.4
Pisón	Masa	kg	4.54	4.54	4.54
	Altura de caída	mm	457	457	457
Número de capas de compactación			5	5	5
Número de golpes por capa			25	25	56
Energía de compactación			2700	2700	2700
Suelo a usarse	Pasa el tamiz		Nº4	3/8 plg	3/4 plg
Criterio de selección					
Porcentaje retenido en el tamiz Nº4			<20%	>20%	
Porcentaje retenido en el tamiz 3/8 plg				<20%	>20%
Porcentaje retenido en el tamiz 3/4 plg					<30%

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles".

### 2.3.3. Relación de soporte del suelo CBR

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos conocido como razón de soporte de california (CBR).

El ensayo se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variable. Este método se utiliza para evaluar la capacidad de

soporte de suelos de sub-rasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (con un área de 19.4 cm<sup>3</sup>) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitario patrón requerido para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado.

En forma de ecuación esto es:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100(\%)$$

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en las ecuaciones son los siguientes:

**Tabla 2.3** Valores de carga unitaria patrón

Penetración		Carga unitaria patrón	
mm	plg	Mpa	psi
2.5	0.1	6.9	1000
5	0.2	10.3	1500
7.5	0.3	13	1900
10	0.4	16	2300
12.7	0.5	18	2600

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en ingeniería "Joseph E. Bowles".

#### **2.4. MATERIALES QUE CONSTITUYEN LA CAPA DE RODADURA**

La calidad y durabilidad de las estructuras de pavimento exigen el uso de materiales con características físicas, químicas y mecánicas capaces de resistir los esfuerzos inducidos por el tránsito y el medio ambiente asociados a las condiciones locales de Bolivia.

### **a) Agregados**

Los agregados tanto gruesos como finos constituyen en conjunto cerca del 75% del volumen de la mezcla de concreto, por lo que su calidad influye grandemente en sus características, principalmente de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

El agregado grueso corresponde a la fracción cuyas partículas son mayores a 4.76 mm (malla N°4), se tiene un tamaño máximo hasta de 63.5 mm (2 ½”) en concretos vibrados. Es importante, para prevenir la segregación de tamaños en su manipulación, previamente a la elaboración del concreto, fraccionar el agregado grueso en dos porciones como mínimo, separadas por la malla de 19 mm (¾”) cuando el tamaño máximo es de 38.1 mm (1 ½”) o por la malla de 25.4 mm (1”) cuando el tamaño máximo sea de 50.8 mm (2”) o de 63.5 mm (2 ½”). Los agregados deben tener como principales características el ser mas duros, sanos, resistentes al intemperismo e inertes a la reacción química con los álcalis del cemento.

Con objeto de obtener concretos de alta calidad, facilitar su construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial, el tamaño máximo recomendado generalmente para el concreto es de 5 cm no debe ser mayor que la cuarta parte del espesor de la capa en que se pretende utilizar.

La granulometría del agregado grueso para un tamaño máximo dado puede variar considerablemente sin afectar apreciablemente el contenido de cemento, siempre y cuando el contenido de arena se mantenga próximo al óptimo para lograr una buena trabajabilidad; sin embargo, la curva granulométrica deberá quedar en todo momento dentro de los límites especificados como se observan en las tablas 2.4 y 2.5 donde nos muestra las características físico-químico y la gradación granulométrica.

Tabla de características físico – químicas de los agregados gruesos en la siguiente pagina.

**Tabla 2.4** Características físico – químicas de los agregados gruesos.

Ensayos de los agregados gruesos	Valores
Desgaste a los ángeles	≤ 35 %
Tamaño máximo	≤ 50 mm.
Peso unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr./cm <sup>3</sup>
Absorción de agua 24 horas (la pérdida)	No excederá del 3% en peso
<b>No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes límites</b>	
Fragmentos blandos	3 % en peso
Carbón y lignito	1 % en peso
Terrones de arcilla	0,5 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200	≤ 1 % en peso
Durabilidad con sulfato de sodio (la pérdida)	Luego de 5 ciclos no excederá el 12%

Fuente: Manual de especificaciones técnicas de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras).

**Tabla 2.5** Granulometría del agregado grueso.

Tamices máximos	Tamaño de tamices									
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8
	Porcentaje en peso que pasa los tamices ASTM C - 33									
2" N°4	-	100	95-100	-	35 - 70	-	10 - 30	-	0 - 5	-
1 1/2" N°4	-	-	100	95-100	-	35-100	25 - 80	10 - 30	0 - 5	-
1" N°4	-	-	-	100	95-100	-	-	-	0 - 10	0 - 5
3/4" N°4	-	-	-	-	100	95-100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5
1/2" N°4	-	-	-	-	-	100	90-100	40 - 70	0 - 15	0 - 5
2" 1 1/2"	100	90-100	35 - 70	0 - 15	20 - 55	0 - 5	-	-	-	-
2" 1/2"	-	100	90-100	35 - 70	-	-	0 - 5	-	-	-
1 1/2" 3/4"	-	-	35 - 70	90-100	35 - 70	-	-	0 - 5	-	-
1/2" N°4	100	95-100	-	35 - 70	-	10 30	10 - 30	-	0 - 5	-

Fuente: Manual de especificaciones técnicas de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras).

Respecto a los agregados finos, para el caso de pavimentos, se puede exigir las siguientes características en tabla 2.6.

**Tabla 2.6** Características físico – químicas de los agregados finos.

<b>Ensayos de agregados finos</b>	<b>Valores</b>
Módulo de finura	> 2,3 y < 3,10
Peso unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción de agua 24 horas (la perdida)	no excederá del 5% en peso
<b>No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes límites</b>	
Carbón y lignito	0,5 % en peso
Terrones de arcilla	3,0 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200 chancado	≤ 5,0 % en peso
Otras sustancias como: Alcalis, sales, mica, granos con películas superficiales, partículas blandas, etc.	1 % en peso

Fuente: NCH-163 Áridos para morteros y hormigón- requisitos generales, página 4.

La distribución por tamaño de las partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas.

Que a continuación presentamos, se muestran las mallas utilizadas en el cribado del agregado fino.

**Tabla 2.7** Serie de mallas estándar y límites de tolerancia para la arena.

<b>Tamiz malla ASTM-33</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
3/8"	100
N° 4	95 – 100
N° 8	85 – 100
N° 16	45 – 80
N° 30	25 – 60
N° 50	10 – 30
N° 100	2 – 10
N° 200	0 - 3

Fuente: Manual de especificaciones técnicas de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras)

## **b) Cemento**

Los cementos son los conglomerantes hidráulicos o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto en el aire como bajo el agua.

Para la elaboración del clinker portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de hierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400° C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente.

En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker portland. Una vez frío, el clinker en proporción en masa entre el 95 y 100%, se muele juntamente con una reducida proporción de yeso en masa entre 0 y 5%, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento portland simple.

Tabla análisis químico-físico y mecánico de los cementos en la siguiente página.

**Tabla 2.8** Análisis químico-físico y mecánico de los cementos.

Análisis químico		Unidad	Requisitos según NB 011
Óxido de Magnesio: (NB 061)	MgO	%	Menor a 6,0
Óxido de Azufre: (NB 061)	SO <sub>3</sub>	%	Menor a 4,0
Pérdidas por Calcinación: (NB 061)	PPC	%	Menor a 7,0
Ensayos físicos		Unidad	
Tiempo inicial de fraguado: (NB 063)		H: min.	Mayor a 0:45
Tiempo final de fraguado: (NB 063)		H: min.	Menor a 10:00
Expansión (Le Chatelier C-A): (NB 643)		mm	Menor a 10:00
Finura, superficie específica según Blaine: (NB 472)		cm <sup>2</sup> /g	Mayor a 2600
Peso específico: (NB 064)		g/cm <sup>3</sup>	No especifica
Ensayos mecánicos		Unidad	
Norma NB 470 (ASTM C1099)			
Resistencia a la compresión		3 días	MPa
En mortero normalizado a:		7 días	MPa
		28 días	MPa

Fuente: Norma Boliviana.

**Tabla 2.9** Tipo y características del cemento

Tipo	Característica	Ajuste principal
<b>I</b>	Cemento normal u ordinario, destinado a obras de concreto en general.	Sin ajuste específico en este aspecto.
<b>II</b>	Destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.	Moderado C3A
<b>III</b>	Cemento portland de alta resistencia inicial.	Alto C3S
<b>IV</b>	Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.	Alto C2S, moderado C3A.
<b>V</b>	Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.	Bajo C3A.

Fuente: Norma Boliviana.

### c) Agua

El agua es un elemento fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido; por lo que debe tenerse muy en cuenta la calidad de esta.

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

Con el fin de garantizar la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, es necesario regirse a los siguientes valores máximos admisibles (Tabla 2.10).

**Tabla 2.10** Sustancias disueltas admisibles en el agua

Parámetro	Método	Unidad	Límites permitidos	Referencia límite
Cloruros	SM 4500-CI-B	g/l	$\leq 6$	NB 637-94
Aceites y grasas	SM 5520-B	g/l	$\leq 15$	NB 637-94
Ph (22,5 °C)	SM 4500-H-B		$\geq 5$	NB 637-94
Sólidos suspensión total	SM 2540-B-C	g/l	1,5	PETROBRAS
Subs. disueltas total	SM-2540-C	g/l	$\leq 15$	NB 637-94
Dureza	SM 2340-C	mg CaCO <sub>3</sub> /l		
Magnesio	SM 3500-Mg-E	g/l	0,15	PETROBRAS
Nitrógeno total	SM 4500-Norg-B	g/l		
DQO	8000-HACH	g/l		
Sulfatos	SM 4500-SO <sub>4</sub> -E	g/l	$\leq 1$	CBH-87

Fuente: Norma Boliviana (IBNORCA).

## 2.5. ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR

El tráfico es uno de los parámetros de diseño fundamental, aunque se pueden permitir ciertas imprecisiones en la disposición de una variable, siempre será necesario conocerla para que sirva de guía en el cálculo estructural del pavimento y de esta forma conocer la sollicitación a que se verá sometido durante su vida útil. Dentro del procesamiento de los datos relacionados con el tráfico es necesario distinguir los siguientes aspectos.



### **2.5.1. Clasificación de vehículos**

Otro aspecto de significativa importancia lo constituye el conocimiento de la composición del tráfico, ya que con ella se estima la configuración y el número de vehículos pesados que son los que interesan. La base para el estudio del tráfico vehicular es naturalmente el conocimiento de las características del tráfico actual. Ese conocimiento se lo puede adquirir basándose en la verificación de conteos vehiculares.

Los vehículos según su clasificación resumida son los siguientes:

Vehículos Ligeros (automóviles o vagonetas, camionetas y otros)

Vehículos Medianos (microbuses, buces medianos, camiones pequeños)

Vehículos Pesados (buses grandes, camiones grandes y con acoplado)

#### **2.5.1.1. Tipo de ejes**

##### **a) Eje simple**

Se denomina eje simple al elemento constituido por un solo eje no articulado a otro, puede ser: motriz o no, direccional o no, anterior, central o posterior.

Peso máximo admisible para un eje simple de 2 neumáticos es de 7000 Kg (15 Kips).

Eje en cuyos extremos, lleva una o dos ruedas sencillas.

Peso máximo admisible para un eje simple de 4 neumáticos es de 11000 Kg (24 Kips).

##### **b) Eje tándem**

Se denomina eje tándem al elemento constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por una distancia menor a 2,4 metros.

Estos reparten la carga, en partes iguales, sobre los dos ejes.

Los ejes de este tipo pueden ser motrices, portantes o combinados.

Peso máximo admisible para un eje tándem de 4 neumáticos es de 10000 Kg (22 Kips).

Peso máximo admisible para un eje tándem de 6 neumáticos es de 14000 Kg (31 Kips).

##### **c) Eje trídem**

Se denomina eje trídem al elemento constituido por tres ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes, separados por distancias menores a 2,4 metros.

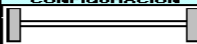
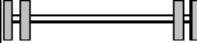
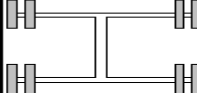
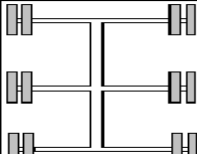
Estos reparten la carga sobre los tres ejes. Los ejes de este tipo pueden ser motrices, portantes o combinados.

Peso máximo admisible para un eje trídem de 6 neumáticos es de 17000 Kg (37 Kips).

Peso máximo admisible para un eje trídem de 10 neumáticos es de 21000 Kg (46 Kips).

Peso máximo admisible para un eje trídem de 12 neumáticos es de 25000 Kg (55 Kips).

**Figura 2.12** Tipos de ejes y peso en toneladas.

DESCRIPCION	CONFIGURACION	PESO (ta)
Eje simple Direccional		6.00
Eje simple llanta doble		11.00
Eje tandem, llanta doble		22.00
Eje tridem, llanta doble		24.00

Fuente: Manual de carreteras A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras).

**Tabla 2.11** Peso máximo en toneladas por eje.

Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares	Peso bruto máximo permitido por eje en toneladas
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantas	7.00
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7.70
Eje tipo tándem de 4 llantas	10.00
Eje sencillo de 4 llantas	11.00
Eje tipo tándem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	12.00
Eje tipo tándem de 6 llantas	14.00
Eje tipo tándem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	16.00
Eje tipo trídem de 6 llantas	17.00
Eje tipo trídem de 8 llantas	18.00
Eje tipo trídem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	18.00
Eje tipo trídem de 10 llantas	21.00
Eje tipo trídem de 10 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	22.00
Eje tipo trídem de 12 llantas	25.00

Fuente: Manual de carreteras A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras).

### **2.5.1.2. Volúmenes de tránsito absoluto o totales**

Son volúmenes de tránsito que están clasificados de acuerdo al lapso de tiempo determinado para su cálculo, este lapso puede ser un año, un mes, una semana, un día o una hora.

#### **a) Tránsito anual (TA)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 365 días consecutivos. (T = 1 año).

A continuación, el tránsito anual se utiliza para:

Determinar los patrones de viaje sobre áreas geográficas.

Estimar los gastos esperados de los usuarios de las carreteras.

Calcular índices de accidentes.

Indicar las variaciones y tendencias de los volúmenes de tránsito, especialmente en carreteras de cuota.

#### **b) Tránsito mensual (TM)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 30 días consecutivos. (T = 1 mes).

#### **c) Tránsito semanal (TS)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 7 días consecutivos. (T = 1 semana).

#### **d) Tránsito diario (TD)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 24 horas consecutivas. (T = 1 día).

#### **e) Tránsito horario (TH)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 60 minutos consecutivos. (T = 1 hora).

A continuación, el tránsito anual se utiliza para:

Determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda.

Evaluar deficiencias de capacidad.

Establecer controles en el tránsito, como:

Colocación de señales, semáforos y marcas viales, jerarquización de calles, sentidos de circulación y rutas de tránsito; y prohibición de estacionamiento, paradas y maniobras de vueltas.

### **2.5.1.2.1. Volúmenes de tránsito promedio diarios (TPD)**

El TPD es una medida de tránsito fundamental, está definida como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido.

Se llama T.P.D al promedio de los volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un cierto periodo, que normalmente es de un año.

En general para su determinación se realiza conteos vehiculares en secciones de rutas definidas donde existen cambios significativos de los volúmenes.

Es una de las variables fundamentales para la determinación del número de ejes equivalentes que solicitarán el pavimento, constituyéndose por ello en un dato muy importante a la hora de calcular las cargas que circularán por la calzada, aspecto que trataremos con mayor detalle en el capítulo del presente trabajo. El periodo debe estar dado como días completos y además estar comprendido entre los 365 días. En función del número de días del periodo establecido, los volúmenes de tránsito promedio diarios se clasifican en:

Tránsito promedio diario anual (TPDA)

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

$$TPDM = \frac{TM}{30}$$

Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TPDS = \frac{TS}{7}$$

### **2.5.1.2.2. Volumen de tráfico**

Los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de automóviles respecto al tiempo y espacio, las características de los aforos dependen del tipo de análisis solicitado en una vía.

Los aforos de volumen sirven para efectuar:

Estudios prioritarios de conservación (mantenimiento).

Estudios prioritarios de construcción.

Estudios prioritarios de señalización.

Estudios de accidentes en la zona.

### **Método de aforo automático**

Se utiliza para esto un contador automático, el cual realiza un registro de los volúmenes en forma diaria, pero tiene la desventaja de que no puede clasificar los vehículos por tipo, factor que interesa en el presente trabajo, por lo tanto sólo es útil para obtener valores promedio del tránsito diario.

### **Método de aforo manual**

Este método de aforo consiste en el llenado de planillas elaboradas de acuerdo con el tipo de datos a recabar en la vía, a cargo de una o varias personas.

El aforo manual se puede realizar por dos métodos para el aforo puede ser durante 7 días hábiles (lunes a domingo) o aforo por un mes (dos días hábiles y un día no hábil) según la norma A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras) sobre el tráfico. El tiempo de aforo pueden ser periodos de una hora o menos, un día, un mes o un año. Para nuestro proyecto se realizará el aforo para determinar los volúmenes de vehículos que circulan en 24 horas o un día.

Una persona se ubica en una estación de control para observar y registrar la información necesaria en cuanto a clasificación y dirección de los vehículos se refiere (automóviles, camiones por tamaño, etc.).

Por todo lo expuesto anteriormente, es importante tomar en cuenta los aspectos señalados, ya que influyen en las características del tráfico actual, pudiendo ocasionar variaciones significativas al momento de realizar una proyección del tráfico.

## **2.6. DISEÑO DE LAS OBRAS PRINCIPALES, AUXILIARES Y COMPLEMENTARIAS**

### **2.6.1. Parámetros de diseño y normas de obras auxiliares**

#### **a) Diseño hidráulico de cunetas**

Ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Dónde:

n = Coeficiente de acuerdo con el material (revestido o no revestido)

A = Área hidráulica de la cuneta

R = Radio hidráulico

S = Pendiente longitudinal de la cuneta

Q = Caudal

Por iteración se determina el área de la cuneta y sus dimensiones.

La sección definitiva de la cuneta estará dada en función del área hidráulica, a un borde libre que se debe dar entre 5 y 10 cm. encima del tirante y las condiciones geométricas generales de la sección de la cuneta.

Un factor importante en la longitud de las cunetas es el de evitar la erosión en las mismas, la erosión es un fenómeno irreversible y está relacionado con varios factores como ser:

- La frecuencia y la intensidad de las lluvias.
- Tipo de suelo.
- La pendiente de la cuneta (a mayor pendiente mayor erosión).

## **b) Diseño hidráulico de alcantarillas**

### **Alcantarillas de alivio**

Se diseñan tanto en su emplazamiento geométrico determinando su ubicación longitudinal y su posición altimétrica dentro de la obra; respecto al diseño hidráulico se debe diseñar el diámetro del tubo de la alcantarilla de alivio a partir de la ecuación racional:

$$Q = c * i * A$$

El coeficiente de escorrentía puede ser un valor ponderado por el coeficiente de escorrentía de la superficie de rodadura de la carretera y el coeficiente correspondiente al resto del área de aporte. El área de aporte estará dada en función a la separación entre alcantarillas de alivio (L) y el ancho medio del derecho de vía (15 m.).

La intensidad de precipitación será la misma que se use en el diseño de las cunetas obtenida en base al estudio hidrológico, precipitaciones diarias máximas tiempos de concentración y periodos de retorno.

Una vez determinado el caudal se hará uso de la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Al ser la única incógnita el diámetro del tubo por iteración se encontrará el diámetro necesario para soportar el caudal. En la práctica puede no ser un diámetro comercial por

lo que deberá adoptarse uno cuyo valor sea el más próximo al de diseño, pero superior. La alcantarilla de alivio en general está constituida por la cámara de ingreso y el tubo.

### c) Método racional

Es el método más utilizado ya que toma más variables y se las puede obtener si existen estaciones meteorológicas cercanas a la zona del proyecto, la ecuación general es:

$$Q = \frac{(c * i * A)}{3.6}$$

Donde:

Q = Caudal (lt/s)

i = Intensidad de precipitación (mm/h) (en los 10 min. de máxima concentración)

A = Área de la cuenca (Has)

i = (cm/h)

c = Coeficiente de escorrentía.

Los valores de “c” son:

Asfaltos	0.75-0.95
Concreto hidráulico	0.70-0.90
Suelos impermeables	0.40-0.65
Ligeramente permeables	0.15-0.40
Suelos permeables	0.05-0.20

En base a la ecuación racional siempre y cuando se tengan los valores confiables sobre la intensidad de precipitación el cual estará determinado a partir de las precipitaciones máximas diarias utilizando distribución de ajustes probabilísticos como:

Distribución normal, logarítmica-normal, Pearson y otros que nos permiten encontrar una correlación entre la intensidad de precipitación el tiempo de retorno y el de concentración, se recomienda tomar el valor de intensidad de precipitación en los 10 min. de tiempo de concentración y un periodo de retorno de 50 a 100 años.

Determinado el caudal que va a pasar por el punto donde se va a ubicar la alcantarilla utilizando la ecuación de Manning donde “Q” ya es un dato, además tenemos la pendiente longitudinal de la alcantarilla en base al lecho del río, el coeficiente “n” dependiendo de

la rugosidad del material de la alcantarilla dejando como incógnita el valor de área hidráulica necesaria que por iteración se la puede obtener ya sea ésta en sección circular.

#### **d) Método de sección y pendiente**

Utiliza como parámetros la sección transversal de la quebrada o río donde se quiere diseñar la alcantarilla y la pendiente longitudinal del lecho del río aprovechando la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde las variables conocidas son el área, perímetro mojado, pendiente longitudinal y coeficiente “n”, con lo que se determina fácilmente el caudal.

Determinado ese caudal se vuelve a la misma ecuación en la que el caudal aparece como dato, la pendiente, el coeficiente “n”, y la variable a determinar es la sección hidráulica.

### **2.7. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CARPETA DE RODADURA**

En la actualidad existen diversos métodos para realizar el dimensionamiento de los pavimentos rígidos, los cuales realizan un proceso de cálculo un tanto complicado, que requieren un conocimiento previo de las cargas por eje, también se requiere determinar el valor de K además de una serie de parámetros, cuya elección del valor más adecuado es muy subjetiva. Un ejemplo es el método AASHTO.

Existen también otros métodos que han sido creados en varios países europeos, que tienden a simplificar el dimensionamiento, basados en general en la utilización solo de dos variables, el volumen de vehículos pesados y la categoría de la subrasante.

Para objeto del presente estudio se diseñará con el método AASTHO (utilizando el programa computacional AASTHO-93).

#### **2.7.1. Método AASTHO – 93**

##### **2.7.1.1. Variables de diseño**

###### **a) Periodo de diseño**

Se consideran dos variables: período de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil se refiere al tiempo transcurrido entre la puesta en operación del camino y el momento en el



que el pavimento requiera rehabilitarse, es decir cuando éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo.

El período de análisis se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño. Para el caso en el que no se considere rehabilitaciones, el período de análisis es igual al período de vida útil; pero si se considera una planificación por etapas, es decir, una estructura de pavimento seguida por una o más operaciones de rehabilitación, el período de análisis comprende varios períodos de vida útil, el del pavimento y el de los distintos refuerzos. Para efectos de diseño se considera el período de vida útil, mientras que el período de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto.

Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la tabla 2.12.

**Tabla 2.12** Período de diseño.

<b>Clasificación de la vía</b>	<b>Período de análisis (años)</b>
Urbana de alto volumen de tráfico.	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico.	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico.	15 – 25
Pavimentada de bajo volumen de tráfico.	10 - 20

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

## **b) Tránsito**

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil.

El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste.

Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent single axle load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

La información de tráfico requerida por la ecuación de diseño utilizado en este método es: cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.

Para la estimación de los ejes simples equivalentes (ESALs), se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

### **Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en inglés)**

La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga (Fec), que es el número de aplicaciones ESALs aportadas por un eje determinado. Así, el Fce es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un eje estándar de 18 Kips y la carga producida por otro tipo de eje.

$$LEF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ESALs de 80 KN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes x KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

### **c) Confiabilidad**

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado.

Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

$$R (\%) = 100 P (N_t > N_T)$$

Donde:

$N_t$  = Número de ESALs de 80 KN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

$N_T$  = Número de ESALs de 80 KN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño (vida útil).

Como  $N_t$  y  $N_T$  tienen una distribución normal, la diferencia entre ambas, también tendrá una distribución normal.

El número de ESALs de diseño para una confiabilidad dada es:

$$\text{Log (ESALs diseño)} = \log N_T + Z_R \times S_0$$

Donde  $Z_R$  es el área bajo la curva de distribución, correspondiente a la curva estandarizada.

Para la selección del nivel de confiabilidad debe tenerse en cuenta dos aspectos:

### **Grado de importancia de la carretera**

Tiene que ver con el uso esperado de la carretera. Así, para carreteras principales el nivel de confiabilidad es alto, ya que un su dimensionamiento del espesor del pavimento traerá como consecuencia que éste alcance los niveles mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto, debido al rápido deterioro que experimentará la estructura.

En la tabla 2.13 se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO.

**Tabla 2.13** Niveles de confiabilidad recomendadas por AASHTO.

<b>Tipo de camino</b>	<b>Zona urbana</b>	<b>Zona rural</b>
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 - 80

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

**Tabla 2.14** Factores de desviación normal a través de la confiabilidad.

<b>Confiabilidad</b>	<b>Zr</b>
50	0
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
95	-1.645
99	-2.327

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

### **d) Desviación estándar y factor de desviación normal**

Por lo que es necesario una variable  $S_o$  (Desviación estándar) que acote la variabilidad de todos estos factores dentro de unos límites permisibles, con el fin de asegurar que la estructura del pavimento se comporte adecuadamente durante su período de diseño. Es la desviación de la población de valores obtenidos por AASHTO que involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo.

En la tabla 2.15 se muestran valores para la desviación estándar.

**Tabla 2.15** Desviación estándar recomendadas por AASHTO.

Condición de diseño	Desviación estándar ( $S_0$ )	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Fuente: Guía AASHTO “diseño de estructuras de pavimentos 1993”.

### e) **Serviciabilidad**

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad. El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.

El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.

- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.

Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas.

- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad presente (PSI, por sus siglas en inglés). El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo con una escala de valores de 0 a 5. Claro está, que, si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece. El diseño estructural basado en la serviciabilidad considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial ( $P_0$ ) y el índice de serviciabilidad final ( $P_t$ ), para la vida útil o de diseño del pavimento.

### Índice de serviciabilidad inicial (P0)

AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

### Índice de serviciabilidad final (Pt)

El índice de serviciabilidad final (Pt), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad, pueden considerarse los valores Pt indicados en la tabla 2.16.

**Tabla 2.16** Índice de serviciabilidad final (Pt).

Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

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

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P0 - Pt$$

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son el tráfico medio ambiente y edad del pavimento. Los efectos que causan estos factores en el comportamiento del pavimento han sido considerados en este método. El factor edad (tiempo) no está claramente definido.

Sin embargo, en la mayoría de los casos es un factor negativo neto que contribuye a la reducción de la serviciabilidad.

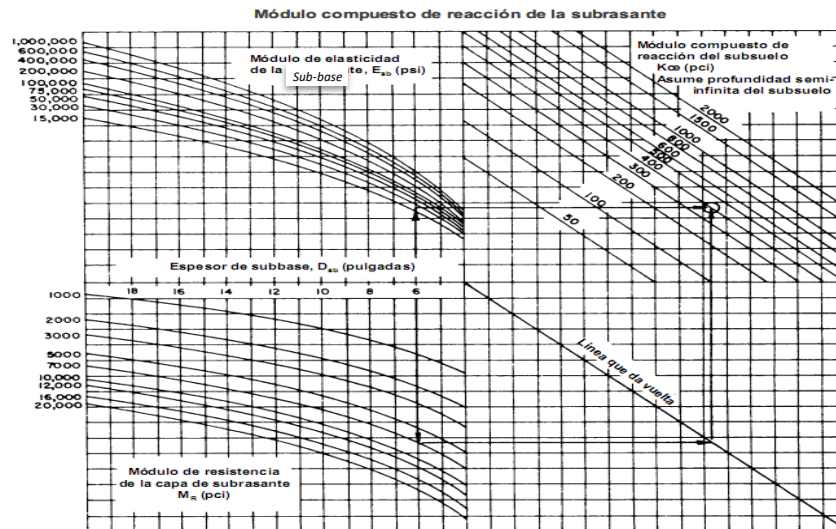
### f) Módulo de reacción de la subrasante

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante, el método recomienda, inicialmente, determinar los valores característicos del módulo resiliente para todos los meses del año, con el fin de evaluar los cambios de humedad que sufre la subrasante y la sub-base en las diferentes estaciones del año. Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Puesto que la prueba de carga

sobre placa requiere tiempo y es costosa, el valor de  $k$  es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte californiana (C.B.R) o las pruebas de valores  $R$ .

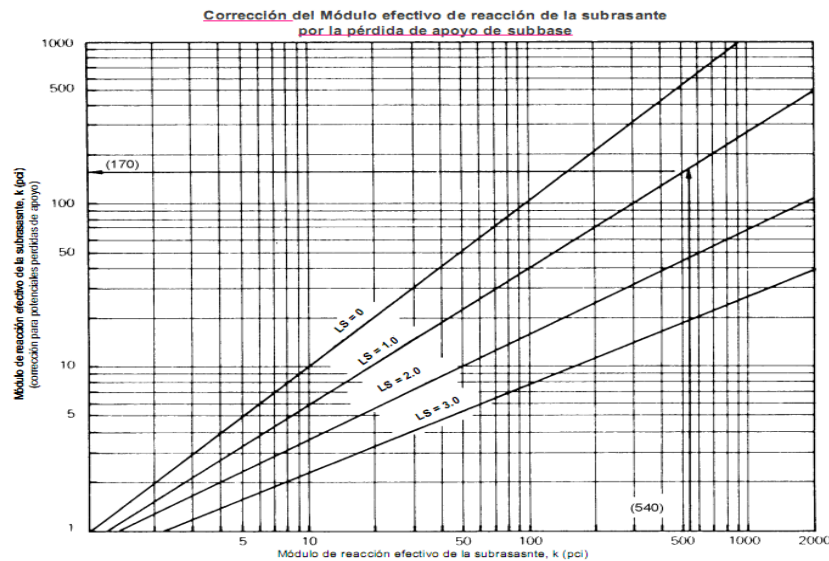
El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor  $k$ ; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

**Figura 2.13** Ábaco para hallar el módulo compuesto de reacción de la subrasante.



Fuente: Guía para el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93 del I.C.B.H.

**Figura 2.14** Ábaco para hallar el módulo efectivo de reacción de la subrasante.



Fuente: Guía para el diseño de pavimentos rígidos AASTHO 93 del I.C.B.H. (Instituto Boliviano del cemento y el hormigón).

### **Pérdida de soporte (LS')**

Este factor, LS (loss of support = pérdida de soporte) es incluido en el diseño de pavimentos rígidos para tomar en cuenta la pérdida potencial de soporte proveniente de la erosión de la subbase y/o movimientos diferenciales verticales del suelo.

Deberá también considerarse este factor en términos de los movimientos verticales del suelo que pueden resultar de vacíos bajo el pavimento.

Aun cuando se utilice una sub-base no erosionable, pueden desarrollarse vacíos, reduciendo la vida del pavimento.

En la tabla 2.17 proporciona algunos rangos sugeridos por las AASHTO para la pérdida de soporte, dependiendo del tipo de material (específicamente su rigidez o módulo elástico).

**Tabla 2.17** Valores de (LS).

<b>Tipo de material</b>	<b>Perdida de soporte</b>
Base granular tratada con cemento (E = 1,000,000 a 2,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas de agregados con cemento (E = 500,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Bases tratadas con asfalto (E = 350,000 a 1,000,000 psi)	0.0 – 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas (E = 40,000 a 300,000 psi)	0.0 – 1.0
Estabilizados con cal (E = 20,000 a 70,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares sin ligante (E = 15,000 a 45,000 psi)	1.0 – 3.0
Materiales granulares finos o subrasante natural (E = 3,000 a 40,000 psi)	2.0 – 3.0

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

### **g) Drenaje**

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

El agua es el causante principal del deterioro de la estructura del pavimento, porque origina muchos efectos devastadores en él; siendo el peor, la pérdida de soporte del pavimento.

**Para minimizar los efectos del agua sobre los pavimentos se debe:**

Prevenir el ingreso del agua al pavimento (drenaje superficial).

Proveer de un drenaje para remover el agua rápidamente (drenaje subterráneo).

Construir un pavimento suficientemente fuerte para resistir el efecto combinado de carga y agua.

Como es imposible impedir el ingreso del agua a la estructura del pavimento, es necesario la construcción de un sistema de sub-drenaje que permita remover rápidamente esta agua. En la actualidad se están utilizando sub-bases altamente permeables y drenes laterales para evacuar rápidamente el agua.

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). En la tabla 2.18 proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje Cd, que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

**Tabla 2.18** Coeficiente de drenaje para pavimento rígido.

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Calificación					
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

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



## h) Transferencia de carga

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la sub-base y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.

Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga  $J$ . Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre este valor. En la tabla 2.19, establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecánico de esfuerzos.

Como se puede apreciar en esta tabla el valor de  $J$  se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga.

**Tabla 2.19** Coeficiente de transferencia de carga ( $J$ ).

Tipo de pavimento	Berma de asfalto		Berma de Ho. vinculada	
	Dispositivo de transferencia.		Dispositivo de transferencia.	
	Si	No	Si	No
Junta sencilla y Junta reforzada	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Continuamente reforzada	2.9 – 3.2	N/D	2.3 – 2.9	N/D

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

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa, por eso que se usan valores menores de J.

La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unidas es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma.

Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

### 2.7.1.2. Procedimiento de cálculo de espesor de la losa

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

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

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

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

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{3.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[ D^{0.75} - 18.42 J \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right]} \right]$$

Donde:

W18 = Número de cargas de 18 kips (80KN) previstas.

Z<sub>R</sub> = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S<sub>0</sub> = Desviación estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P<sub>t</sub> = Serviciabilidad final.

S<sub>c'</sub> = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

$C_d$  = Coeficiente de drenaje.

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

$K$  = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

### Procedimiento de cálculo:

Se procede a seleccionar el tipo de pavimento rígido que se va a calcular en el programa de AASHTO 93 como se observa a continuación.

**Figura 2.15** Pantalla para los datos en el software.

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

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

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

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): Confiabilidad (R) [dropdown] So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: [empty]

Tránsito: W18

Fuente: Elaboración propia.

Se ingresa los valores antes obtenidos, en las casillas correspondientes.

**Figura 2.16** Pantalla de los resultados del software.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

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

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 90 % Zr = -0.841 So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: 2

Tránsito de diseño: W18 947071.56

Pavimento rígido: Diseñar Ver informe

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 54 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 3051353.6 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 571 Espesor de losa D (plg): 7.17

Coeficiente de transmisión de carga - J: 3.20 J D redondeado (plg): 7.50

Coeficiente de drenaje - Cd: 1 Cd W18 real: 1.30E+00E

Fuente: Elaboración propia.

### 2.7.2. Precios unitarios y presupuesto

El análisis de precio unitario es el costo de una actividad por unidad de medida escogida. Usualmente se compone de una valoración de los materiales, la mano de obra, equipos y herramientas. Para determinar un precio unitario es primeramente necesaria la definición clara de los ítems de que estará compuesta una obra de acuerdo con el diseño final aprobado que normalmente debe cumplir los requisitos demandados por la sociedad y estar diseñados de acuerdo con las normas en vigencia para cada tipo de estructura.

Inicialmente se debe leer en detalle las especificaciones de cada ítem, así como los planos de diseño, para determinar si cada ítem se encuentra enmarcado en los requerimientos y determinar que materiales serán necesarios para su ejecución, así como qué equipo y mano de obra requiero para que se ejecute.

Para el cálculo del precio unitario es necesario considerar que existen dos tipos de costos en su estructura que se pueden mostrar en el cuadro y que son:

**Los costos directos corresponden a:**

Materiales.

Equipo y herramienta.

Mano de obra.

**Los costos indirectos corresponden a:**

Gastos generales.

Utilidad.

Impuestos.

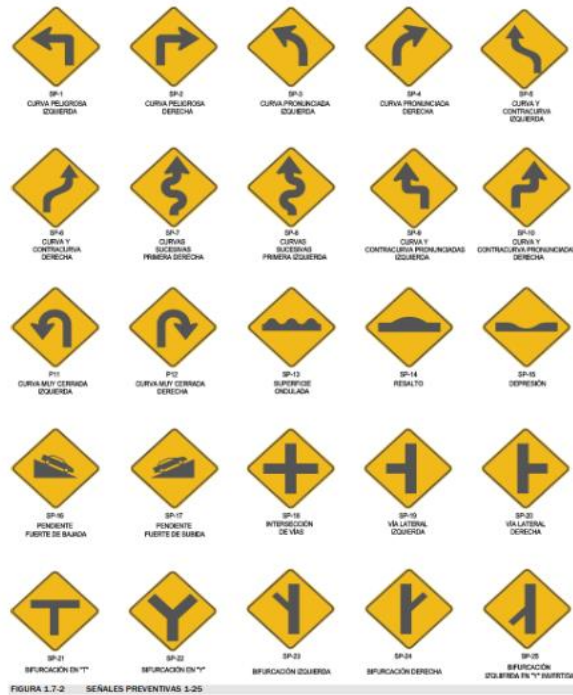
### **2.7.3. Señalización vial**

#### **2.7.3.1. Señalización vertical**

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de estas. De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en: Señales preventivas: Las señales de advertencia de peligro (preventivas) tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones imprevistas presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Señales reglamentarias: Tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones y autorizaciones existentes. Su trasgresión constituye infracción a las normas del tránsito. Señales informativas: Las señales informativas tienen como propósito orientar y guiar a los usuarios del sistema vial, entregándoles información necesaria para que puedan llegar a sus destinos de la forma

más segura, simple y directa posible. Las señales no son necesarias ni deben ser usada para confirmar prescripciones contempladas en la Ley; por el contrario, deben ser instaladas previo análisis técnico, solo en aquellos lugares donde éstas se justifiquen.

**Figura 2.17** Señalización vertical

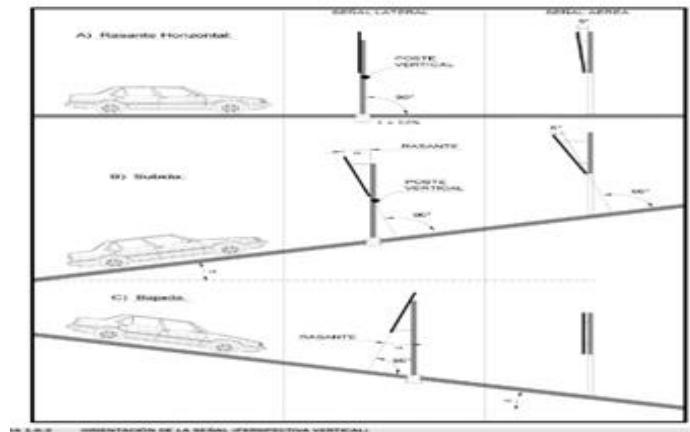


Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito(abc).

### 2.7.1.1.1 Señales preventivas

Las señales de advertencia de peligro, llamadas también preventivas, tienen como propósito advertir a los usuarios la existencia y naturaleza de riesgos y/o situaciones especiales presentes en la vía o en sus zonas adyacentes, ya sea en forma permanente o temporal. Se identifican como base con el código SP. Estas señales persiguen que los conductores tomen las precauciones del caso, ya sea reduciendo la velocidad o realizando las maniobras necesarias para su propia seguridad, la del resto de los vehículos y la de los peatones. Su empleo debe reducirse al mínimo posible, porque el uso innecesario de ellas tiende a disminuir el respeto y obediencia a toda la señalización en general.

**Figura 2.18** Señalización vertical preventiva



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito(abc).

**2.7.3.1.2. Señales reglamentarias**

Las señales reglamentarias tienen por finalidad notificar a los usuarios de las vías, las prioridades en el uso de las mismas, así como las prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones existentes. Su trasgresión constituye infracción a las normas del tránsito y acarrea las sanciones previstas en la Ley. Se deberá evitar, de no ser estrictamente necesario, la inscripción de leyendas o mensajes adicionales en las señales verticales reglamentarias. Estas señales se identifican con el código SR.

**Figura 2.19** Señalización vertical reglamentarias



Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito(abc).

### 2.7.3.2. Señalización de tránsito horizontal (demarcación)

Se abordan los conceptos involucrados en la señalización horizontal de tránsito, la que corresponde a demarcaciones tipo líneas, símbolos, letras u otras, entre las que se incluyen las tachas retroreflectantes complementarias, con la finalidad de informar, prevenir y regular el tránsito. Lo que se indica constituye el estándar mínimo aceptable, pudiendo aumentarse atendiendo a las particularidades que la vía pudiere presentar. Considerando que la señalización horizontal se ubica sobre la calzada, presenta la ventaja, frente a otros tipos de señales, de transmitir su mensaje al conductor sin que éste distraiga su atención de la pista en que circula. Desde este punto de vista, el lograr una mejor señalización horizontal constituye un objetivo prioritario de la seguridad vial. No obstante, como desventaja, su visibilidad se ve afectada por variables ambientales, tales como nieve, lluvia, polvo, alto tránsito y otros. Por lo tanto, frente a maniobras de alto riesgo tales como zonas de no adelantar, o de detención PARE, deben siempre ser reforzadas con la señalización vertical correspondiente. Por otro lado, un requisito importante al momento de decidir el material a emplear en la demarcación será su duración y funcionalidad en climáticas adversas. Esta condición dependerá de las siguientes variables: características del material; el tipo de sustrato sobre el cual se aplica; tipo y cantidad de tránsito; clima y condiciones ambientales en el entorno a la vía. Las especificaciones que deben cumplir tienen por objeto unificar los materiales a utilizar en las demarcaciones a utilizar en la nación, de modo tal que cuenten con las características que aseguren su duración y visibilidad, tanto diurna como nocturna. Todas las vías pavimentadas deberán contar con señalización horizontal, la cual deberá cumplir una función prioritaria en vías interurbanas y/o de apoyo a la señalización vertical en las vías urbanas.

**Figura 2.20** Señalización horizontal

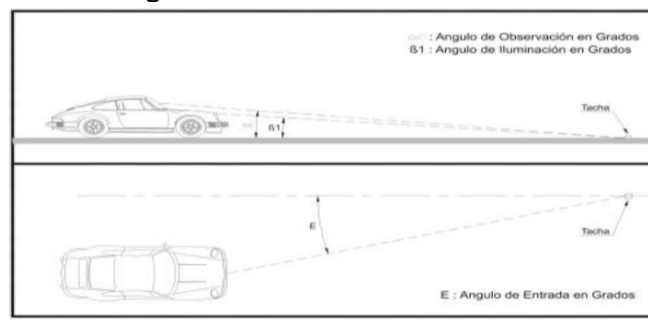


FIGURA 2.4-1. ÁNGULO DE ENTRADA Y DE OBSERVACIÓN

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito(abc).

## **2.8. CONSERVACIÓN VIAL**

Conjunto de acciones que se desarrollan para preservar a largo plazo la condición de los caminos y el servicio que prestan. Procura asegurar, al menor costo posible, el funcionamiento adecuado de un camino o red de caminos, permitiendo costos razonables de operación de los vehículos. Uno de los objetivos primordiales de la conservación es evitar, al máximo posible, la pérdida innecesaria de capital ya invertido, mediante la protección física de la estructura básica y de la superficie del camino. La conservación procura, específicamente, evitar la destrucción de elementos tales como obras de arte en general, túneles, drenajes, puentes, señalización, pavimento, y otros elementos que en conjunto conforman la infraestructura vial, ya que se trata de vías urbanas se puede referir a conservación más necesarias citadas a continuación o de acuerdo con el manual de mantenimiento G.A.M.E.R.

### **2.8.1. Mantenimiento rutinario**

Actividades que requieren ser ejecutadas una o más veces por año en una sección de la carretera entre 2 y 3 días de ejecución. Por lo general se refieren a reparaciones localizadas de pequeños defectos en la calzada y el pavimento, pero muy dispersas. Las necesidades de estas actividades pueden hasta cierto grado, ser estimadas y planificadas. También, incluye aquellas labores de reparación vial destinadas a recuperar elementos menores dañados, deteriorados o destruidos, tal como los barandales de puentes, obras de drenaje menores, señalización vertical y horizontal, muros de retención y actividades afines.

### **2.8.2. Mantenimiento periódico**

Esta expresión puede inducir a equívocos, porque todas las actividades de conservación son periódicas, es decir, deben ser repetidas cada cierto tiempo. No obstante, esta denominación se aplica generalmente a intervenciones que se requieren en períodos mayores de un año, para mantener la vía en un nivel de servicio de bueno a regular. Se trata normalmente de operaciones como sellos, reciclados y recapados de pavimentos (incluyendo los refuerzos necesarios para aumentar el período de servicio en buenas condiciones) así como en pavimento rígido es el sellado de juntas. Suele llamarse preventiva, porque precisamente previene la aparición de daños mayores.



El mantenimiento en pavimento rígido (losas de concreto) está entre 3 y 4 días según la cantidad de losas a intervenir.

### **2.8.3. Mantenimiento de emergencia**

Arreglos que se ejecutan cuando la está en mal estado o incluso intransitable, como consecuencia del descuido prolongado o de un desastre natural, por no disponerse de los recursos necesarios para reconstruirlo, que es lo que correspondería hacer. Normalmente no se remedian las fallas estructurales, pero se hace posible un flujo vehicular regular durante un tiempo limitado. En el mejor de los casos, las reparaciones de emergencia dejan la vía en estado regular, puede durar hasta 4 semanas dependiendo cuantas secciones de concreto hay que remplazar.

**CAPÍTULO III**  
**PROPUESTA DE DISEÑO**

### CAPÍTULO III PROPUESTA DE DISEÑO

#### UBICACIÓN DE PROYECTO

El Municipio de Entre Ríos, pertenece a la Provincia O' Connor, del Departamento de Tarija, siendo de esta su primera y única sección municipal se encuentra a 108 km al este de la ciudad de Tarija, a la que se conecta mediante la ruta fundamental.

Su proximidad con la ciudad capital y su actividad comercial la convierte en un fuerte atractivo de recreación para el fin de semana, aspecto que está siendo explotado con fines turísticos.

La zona del proyecto está ubicado Municipio de Entre Ríos, de la provincia O`Connor del departamento de Tarija. Las vías del proyecto están ubicadas en el distrito 1, de la ciudad de Entre Ríos, que cuenta con el barrio en el área urbana, que es el barrio Banda Mealla.

**Figura 3.21** Localización del proyecto a nivel departamental.



Fuente: Educa Bolivia.

**Figura 3.22** Localización del proyecto a nivel provincial.



Fuente: Educa Bolivia

**Latitud y longitud:** Geográficamente el Municipio de Entre Ríos se encuentra ubicado entre las coordenadas 20° 51' 57'' y 21° 56' 51'' de latitud sud, 63° 40' 23'' y 64° 25' 6'' de longitud oeste, en la parte central del Departamento de Tarija.

**Límites territoriales:** El Municipio está ubicado en la parte central del Departamento de Tarija.

Donde sus límites son: Al norte con el Departamento de Chuquisaca, al Sud y al Este con la Provincia Gran Chaco, al Oeste con la Provincia Cercado, hacia el Noroeste con la Provincia Méndez y hacia el Sudoeste con las Provincias Avilés y Arce.

**Extensión:** El territorio del Municipio de Entre Ríos comprende una extensión territorial de 6.406 km<sup>2</sup> aproximadamente, que representa el 17,2% de la superficie departamental y el 0,58% del territorio nacional.

**Figura 3.23** Ubicación satelital barrio Banda Mealla de Entre Ríos.



Fuente: Google earth.

### **3.1.CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO**

#### **3.1.1. Aspectos demográficos**

El análisis de la población, su dinámica de cambio, sus características e interacciones con otros elementos de la realidad social, económica o territorial, permiten orientar los procesos de planificación urbana en el marco del desarrollo humano sostenible y bienestar social.

Los procesos de urbanización caracterizados por el desplazamiento de población del campo a la ciudad se han visto claramente en la historia boliviana.

De esta manera la población del país ha mostrado un constante y ágil crecimiento; sin embargo, es en el contexto urbano donde se registra los mayores índices de crecimiento, en tanto que la población rural disminuye.

A partir de 1952 con la Revolución Nacional, se promueve a través del capitalismo de Estado la inversión en infraestructura educativa, salud, equipamiento, vialidad y servicios básicos con clara orientación hacia el desarrollo humano.

Tales situaciones provocan los procesos de migración campo-ciudad de población en busca de mejores niveles de vida y oportunidades laborales, pues la inversión pública y privada favorecía la actividad productiva, financiera, comerciales y de servicios preferentemente de las áreas urbanas.

### **3.1.2. Población**

Para fines comparativos vamos a analizar la población 2001 de la ciudad de Entre Ríos comparado con la proyección establecida con tasas de crecimiento oficiales del INE, dado que aún no se tiene un informe oficial por poblaciones del CNPV 2012.

Para el 2001, Entre Ríos contaba con 2.418 habitantes, para el 2012 de acuerdo con la tasa de crecimiento del 0,92 por ciento anual, proyectado, al 2013 Entre Ríos cuenta con 2.698 habitantes.

### **3.1.3. Topografía**

El municipio cuenta con colinas, que en sus depresiones van formando valles, estas colinas medias limitan en muchos casos la accesibilidad a las comunidades, según el Zonisig el 55% del territorio municipal tiene pendientes mayores al 45%.

De la superficie total del municipio tan sólo el 19.2% presenta pendiente menor al 15%, el cual permite realizar labores agrícolas sin afectar mucho el medio ambiente.

No obstante, el 68.8% de superficie municipal presenta pendiente superior al 30%, que compromete seriamente las labores agrícolas.

### **3.1.4. Clima**

De manera general el municipio de Entre Ríos presenta un clima templado cálido-húmedo en primavera y verano en tanto que en otoño e invierno templado-seco.

La temperatura media anual es de 19 °C, en verano 22,5 °C y en invierno de 14,7 °C, con máximas que superan los 40,9 °C y mínimas extremas que bajan hasta -7,2 °C.

**Tabla 3.20** Temperatura media histórica en °C municipio Entre Ríos.

Meses	Promedio de temperaturas (°C) extremas mensuales									Promedio de temperaturas (°C) mensuales								
	El Pajonal			Salinas			Promedio			El Pajonal			Salinas			Promedio		
	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Enero	34.8	11.8	23.3	37.0	5.0	21.0	35.9	8.4	22.2	28.1	17.5	22.8	28.9	17.2	23.1	28.5	17.4	22.9
Febrero	34.2	10.5	22.4	35.0	10.0	22.5	34.6	10.3	22.4	28.1	17.0	22.6	28.7	17.7	23.2	28.4	17.4	22.9
Marzo	33.2	11.0	22.1	35.0	9.8	22.4	34.1	10.4	22.3	26.7	16.6	21.7	27.3	17.7	22.5	27.0	17.2	22.1
Abril	30.7	5.7	18.2	39.0	7.5	23.3	34.9	6.6	20.7	23.9	14.2	19.1	24.4	14.7	19.6	24.2	14.5	19.3
Mayo	29.3	3.2	16.3	33.0	4.1	18.6	31.2	3.7	17.4	19.8	10.1	15.0	21.4	11.5	16.5	20.6	10.8	15.7
Junio	30.1	-2.8	13.7	34.0	-3.5	15.3	32.1	-3.2	14.5	20.5	6.5	13.5	21.4	7.7	14.6	21.0	7.1	1.0
Julio	32.5	-4.3	14.1	35.1	-7.2	14.0	33.8	-5.8	14.0	22.3	5.3	13.8	20.3	4.5	12.4	21.3	4.9	1.1
Agosto	36.5	-2.7	16.9	40.0	-5.5	17.3	38.3	-4.1	17.1	25.3	7.1	16.2	24.9	6.6	15.8	25.1	6.9	16.0
Septiemb	36.7	-1.3	17.7	40.9	1.1	21.0	38.8	-0.1	19.4	23.3	8.6	16.0	27.4	9.0	18.2	25.4	8.8	17.1
Octubre	36.8	6.8	21.8	40.0	4.1	22.1	38.4	5.5	21.9	28.4	14.3	21.4	28.6	13.8	21.2	28.5	14.1	21.3
Noviem	37.2	8.5	22.9	36.0	5.4	20.7	36.6	7.0	21.8	27.4	15.1	21.3	27.3	14.5	20.9	27.4	14.8	21.1
Diciemb	34.8	10.8	22.8	37.0	10.6	23.8	35.9	10.7	23.3	27.5	16.9	22.2	27.0	16.8	21.9	27.3	16.9	22.1
<b>Prom.</b>	<b>33,9</b>	<b>4,8</b>	<b>19,3</b>	<b>36,8</b>	<b>3,5</b>	<b>20,1</b>	<b>35,4</b>	<b>4,1</b>	<b>19,7</b>	<b>25,1</b>	<b>12,4</b>	<b>18,8</b>	<b>25,6</b>	<b>12,6</b>	<b>19,1</b>	<b>25,4</b>	<b>12,5</b>	<b>19,0</b>

Fuente: SENAMHI. Estación Salinas y Pajonal

### 3.1.5. Estudios preliminares

#### 3.1.5.1. Estudio topográfico

Para la ejecución de un diseño geométrico es necesario partir de las características del terreno del lugar donde a ser ejecutada en obra, para ello se recurre a la topografía la cual nos ayudara a realizar un levantamiento topográfico del lugar para obtener la representación gráfica de las características del terreno del lugar del emplazamiento de proyecto.

##### 3.1.5.1.1. Levantamiento topográfico

El estudio topográfico fue realizado por obras públicas de Entre Ríos y mi persona.

##### 3.1.5.1.2. Trabajo de gabinete y procesamiento de datos

Teniendo los datos de campo del levantamiento topográfico se procede a la modelación del terreno en forma digital; para esto se empleó el software AutoCAD civil 3D 2014, para la modelación hasta reproducir las curvas de nivel de terreno y modelar la superficie del campo virtualmente en el ordenador. La gran cantidad de datos (puntos) provenientes de la estación total creados en varios trabajos, deben ser ordenados y clasificados en EXCEL para una correcta modelación.

Un total de 2278 puntos levantados. A continuación, tenemos la siguiente tabla de resumen de BMs.

**Tabla 3.21** Resumen de BMs

<b>Punto</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota</b>	<b>Descripción</b>
732	7619556.188	378785.915	1245.973	BM-01
733	7619616.084	378798.534	1245.854	BM-02
1074	7620236.788	378438.810	1250.030	BM-03
1075	7620178.674	378425.994	1249.365	BM-04
1333	7619402.827	378338.776	1246.277	BM-05
1334	7619404.127	378343.022	1246.246	BM-06
1686	7619075.371	377688.946	1301.139	BM
1892	7619282.428	377681.864	1296.895	BM
2275	7618888.031	378349.152	1268.781	BM-07
2278	7618899.729	378348.350	1269.187	BM-08

Fuente: Levantamiento topográfico de las vías del barrio Banda Mealla.

**Ver planillas en ANEXO N°1**



Las coordenadas geográficas del levantamiento topográfico (Este, norte, elevación, más su respectiva descripción) se muestra a continuación (Hacemos notar que debido a la gran cantidad de puntos levantados se presentará una tabla parcial con dichos puntos y el detalle completo de coordenadas geográficas estará en los anexos).

**Figura 3.24** Ubicación de los BMs.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.5.2. Estudio hidrológico**

Este acápite trata del estudio hidrológico de las vías del barrio Banda Mealla, la parte correspondiente al análisis pluviométrico, determinación de las intensidades de las lluvias para distintos periodos de retorno y la intensidad en los 10 min de máxima concentración para el diseño hidráulico de las obras de drenaje de las vías.

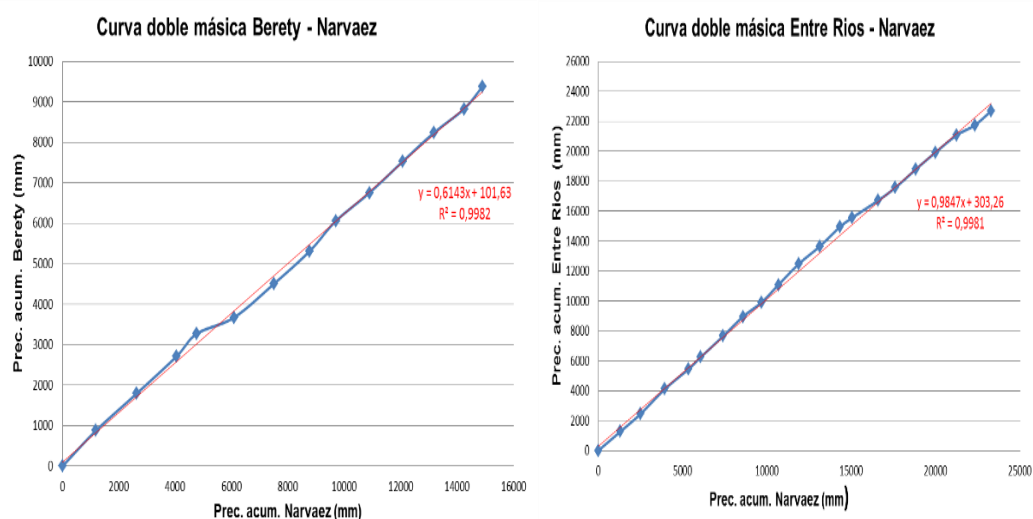
#### **a) Estimación de lluvias máximas**

Información climatológica: La información climatológica con la que se ha trabajado corresponde a las estaciones de Entre Ríos (El Pajonal), Berety y Narváez.

Precipitación: Se ha realizado un análisis de la precipitación anual y máxima, para evaluar la consistencia de la información y la determinación de la tormenta hipotética según el periodo de retorno de diseño y verificación.

Precipitación anual y análisis de consistencia: Al ser la estación Narvárez la que posee mayor cantidad de registros continuos, y observando la representatividad que tendría en la zona de estudio, pues la mayor cantidad de estaciones se encuentran en la misma zona pluviométrica, se adopta la misma como estación patrón para realizar el análisis de consistencia que se presenta a continuación:

**Figura 3.25** Curva doble masa análisis de consistencia.



Fuente: Elaboración propia.

### Precipitación máxima

La precipitación máxima en 24 horas en la zona de estudio posee los siguientes estadísticos:

**Tabla 3.22** Estadístico de la precipitación máxima en 24 horas

Estación	Estadístico				
	Número de datos	Promedio	Desviación	Moda	Característica
Narvárez	36	80,84	22,19	70,86	0,56
Entre Ríos (Pajonal)	29	82,32	22,46	72,21	0,56
Berety	15	65,23	23,68	54,58	0,78

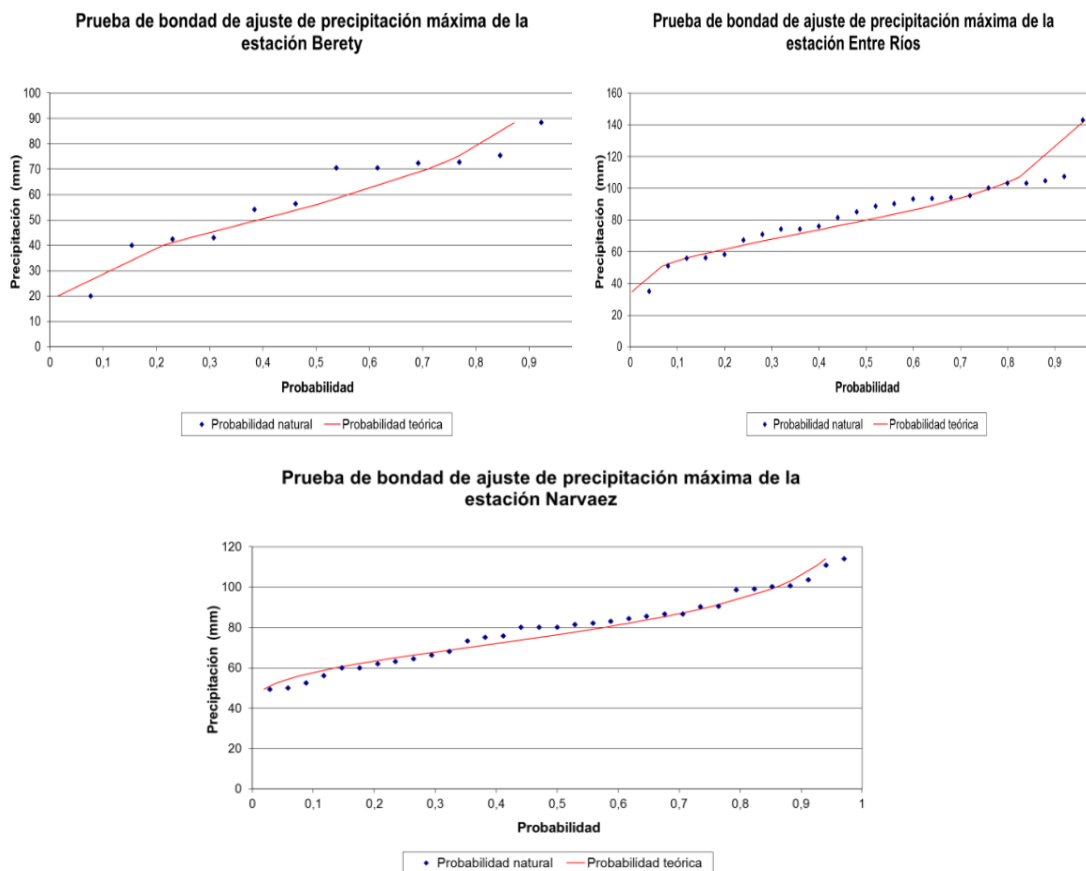
Fuente: Elaboración propia en base a información del SENAMHI.

Los valores estadísticos fueron obtenidos para la distribución de Gumbel, recomendada en el manual de hidrología y drenaje - ABC.

## Distribución de probabilidad y prueba de bondad de ajuste

La distribución de probabilidad preseleccionada para el desarrollo del presente estudio es la de valores extremos tipo I o también denominada ley de Gumbel, debido a que es de mayor aplicación regional y posee parámetros definidos para un amplio rango de valores. Una vez que fue preseleccionada, la validación de su uso se obtuvo a través de la prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, que se resume a continuación:

**Figura 3.26** Prueba de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el registro de precipitación máxima en 24 horas de todas las estaciones analizadas se ajusta a la ley de Gumbel.

### Precipitación máxima probable

Se realizará por pasos como se muestra a continuación:

**Paso 1:** Primeramente, se debe seleccionar los datos de altura de lluvia de 24 horas o alturas de lluvias máximas diarias.

**Paso 2:** Se realiza para cada estación calcular:

**Tabla 3.23** Parámetros estadísticos de precipitación. Máxima diaria

Parámetros	Estaciones		
	El Pajonal	Berety	Narváez
Media(hd)	82.32	65.23	80.84
Desviación (Sd)	22.46	23.68	22.19
Moda (Ed)	72.21	54.58	70.86
Característica (Kd)	0.56	0.78	0.56
Número datos	29	15	36

Fuente: Elaboración propia

**Ver planillas en ANEXO N°1**

**Paso 3:** Ponderación de datos

Moda ponderada

$$Ed * = \frac{(Ed_1 * N^{\circ}_1) + (Ed_2 * N^{\circ}_2) + (Ed_3 * N^{\circ}_3)}{N^{\circ}_1 + N^{\circ}_2 + N^{\circ}_3}$$

$$Ed * = 68.29$$

$$Kd * = \frac{(Kd_1 * N^{\circ}_1) + (Kd_2 * N^{\circ}_2) + (Kd_3 * N^{\circ}_3)}{N^{\circ}_1 + N^{\circ}_2 + N^{\circ}_3}$$

$$Kd * = 0.601$$

**Paso 4:** Modelo probabilístico de Gumbel

Cálculo de altura de lluvia máxima diaria (Hdt)

$$HdT = Ed * (1 + Kd * \log (T))$$

Donde

Ed = Moda ponderada

Kd = Característica ponderada

T = Periodo de retorno

**Tabla 3.24** Hdt para distintos periodos de retorno

T (años)	Hdt altura de lluvias (mm)
50	147.056
20	128.130
10	113.813
5	99.496

Fuente: Elaboración propia.

**Paso 5:** Cálculo de altura máxima horaria

$$htd = Ed * \left(\frac{t^\beta}{\alpha}\right) * [1 + kd * \log(T)]$$

Donde

Ed = Moda Ponderada

Kd = Característica ponderada

T = Periodo de retorno

t = Duración de la lluvia

$\alpha$  = Equivalente de la lluvia = 2 para cuencas < 20km<sup>2</sup>.

B = Constante de la lluvia = 0.2 para nuestra zona.

Lluvias máximas horarias (mm): En el siguiente cuadro se determinarán las lluvias máximas horarias para diferentes periodos de retorno y duraciones de lluvia.

**Tabla 3.25** Lluvias máximas horarias para distintos periodos de retorno

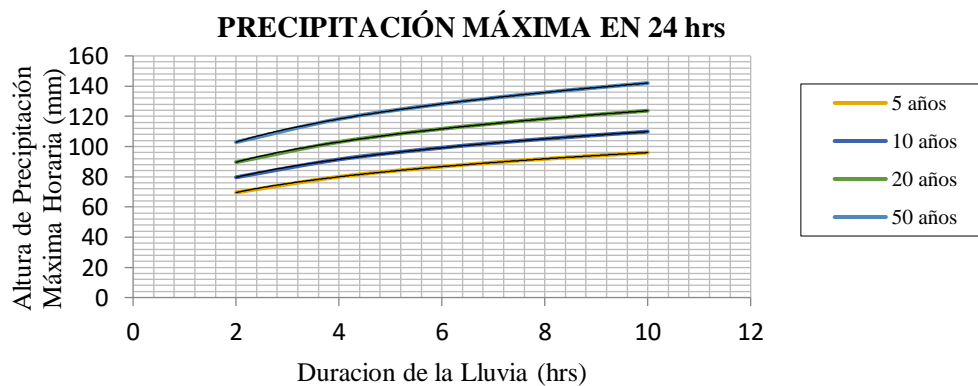
Periodo de retorno T (años)	Duración de lluvias en (horas)				
	2	4	6	8	10
5	69.596	79.945	86.698	91.833	96.024
10	79.631	91.472	99.199	105.074	109.869
20	89.665	102.999	111.699	118.314	123.714
50	102.930	118.236	128.224	135.818	142.016

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°2**

La curva de precipitación se observa en la siguiente página de las lluvias máximas horarias

**Figura 3.27** Curva de precipitación.



Fuente: Elaboración propia.

Para lluvia menores a 2 horas se empleó el método gráfico se explica en anexo 2 estudio hidrológico.

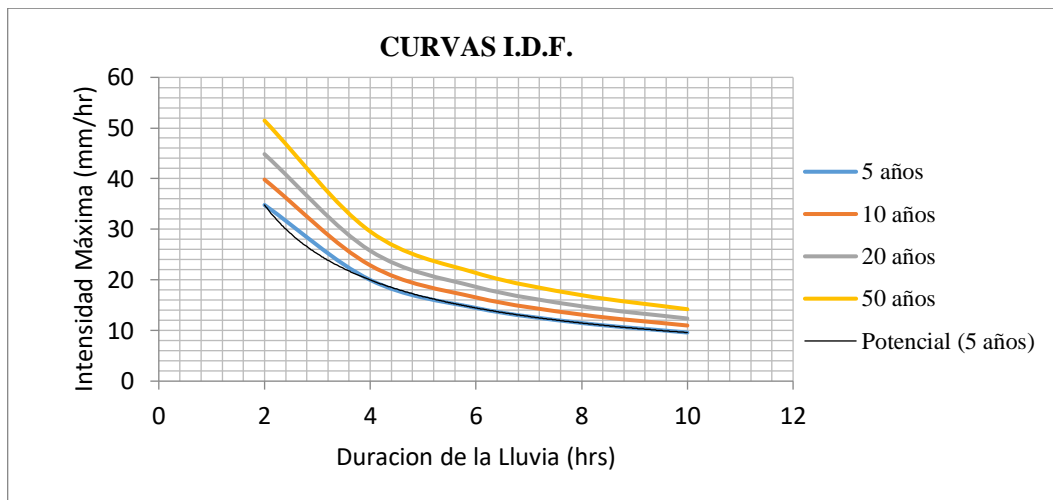
Intensidades máximas (mm/hr): Determinación de las intensidades máximas para la construcción de la curva I.D.F. para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 3.26** Intensidades máximas.

Periodo de retorno T (años)	Duración de la lluvia en (horas)				
	2	4	6	8	10
5	34.798	19.986	14.449	11.479	9.602
10	39.815	22.868	16.533	13.134	10.986
20	44.832	25.749	18.616	14.789	12.371
50	51.465	29.559	21.3706	16.977	14.201

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.28** Curvas IDF.



Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°2**

### 3.1.5.3. Estudio geotécnico

El estudio geotécnico se realizó en el barrio Banda Mealla de la provincia O'Connor del departamento de Tarija y abarca la mecánica de suelos, por ende, comprende el estudio de suelos, más sus propiedades físico – mecánicas.

El objetivo principal de la mecánica de suelos es estudiar el comportamiento del suelo, para ser usado como material de construcción o como base de sustentación de las obras de ingeniería de caminos. La investigación geotécnica, se subdividió en tres etapas:

Etapa de campo

Etapa de laboratorio

Etapa de gabinete

El trabajo de campo consistió en la excavación manual de 6 muestras dependiendo de la estructura del mismo, con una profundidad mínima de 1 m, obteniendo de cada apique una cantidad aproximada de muestra de 35 kg, con la finalidad de conocer la distribución de los diferentes materiales determinados en punto de exploración y así establecer las condiciones de humedad, densidad natural y las situaciones estructurales de la sub rasante. Se tomaron 6 muestras debido a que las características del suelo fueron similares, las muestras obtenidas se llevaron al laboratorio para su respectivo análisis especializado de mecánica de suelos.

**Figura 3.29** Plano geotécnico.



Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos de laboratorio son:

**a) Análisis granulométrico por tamizado**

Distribución granulométrica de los materiales constitutivos del suelo, mediante la vía del tamizado según ASTM;(este proceso se realizó desde el tamiz de 3” hasta el tamiz N° 200). Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforma un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado

establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

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

### Resultados de la práctica

Peso total 500 gramos

**Tabla 3.27** Resultado del porcentaje que pasa de la granulometría del suelo.

Tamiz	Tamaño (mm)	% Que Pasa del total							
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8
3"	76.20	100.00	100.00	100.00	100.00	85.39	100.00	64.25	100.00
2 1/2"	63.50	100.00	100.00	100.00	100.00	79.03	100.00	64.09	100.00
2"	50.80	100.00	100.00	100.00	100.00	70.33	100.00	63.98	100.00
1 1/2"	38.10	100.00	100.00	100.00	100.00	53.77	100.00	63.98	100.00
1"	25.00	100.00	100.00	100.00	95.82	40.99	98.05	61.39	100.00
3/4"	19.00	100.00	100.00	100.00	94.91	36.95	98.05	60.06	100.00
1/2"	12.70	100.00	100.00	100.00	92.78	31.57	97.44	58.84	100.00
3/8"	9.53	100.00	100.00	97.18	91.99	30.24	97.17	58.61	100.00
N°4	4.75	100.00	100.00	97.08	91.19	27.02	96.12	57.66	100.00
N°8	2.36	100.00	100.00	97.02	90.53	25.17	93.12	56.48	99.95
N°10	2.00	100.00	99.96	96.92	90.25	24.57	91.74	55.00	99.88
N°30	0.69	99.92	99.82	96.60	87.97	20.01	79.18	50.00	95.81
N°40	0.43	99.58	99.58	96.08	84.43	18.13	72.93	47.02	68.62
N°60	0.25	94.40	97.08	92.79	72.83	14.56	63.23	30.15	25.55
N°100	0.15	63.08	75.70	78.64	59.65	11.76	49.95	19.20	15.96
N°200	0.08	3.86	17.86	45.01	35.42	8.81	27.52	14.15	6.14

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°3**



## b) Límites de Atterberg – plasticidad

Establecimiento de los límites de consistencia o límites de Atterberg: (Límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad).

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

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

**Límite Líquido (wl ó LI):** Contenido de humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico.

**Límite Plástico (wp ó Lp):** Es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólidos y plástico.

**Índice de Plasticidad (IP):** Es la diferencia entre los límites líquido y plástico:

$$IP = LL - LP$$

**Estados de consistencia:** La consistencia de un suelo varía con la humedad, Atterberg mediante analogías definió los estados de consistencia de un suelo, observando que el mismo desde un grado de saturación hasta un grado seco tiene los siguientes estados:

**Tabla 3.28** Resultado del límite líquido y plástico del suelo de las calles.

Muestra	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Índice de plasticidad
1	NP	NP	0
2	NP	NP	0
3	NP	NP	2
4	19.30	0.77	0
5	NP	NP	0
6	NP	NP	0
7	NP	NP	0
8	NP	NP	0

Fuente: Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO N°3

### c) Clasificación de suelos

Debido a la gran variedad de suelos que pueden encontrarse en la corteza terrestre es que se han desarrollado varios sistemas de clasificación para poder identificarlos, elaborados de acuerdo con la aplicación que se les da a los mismos.

Los métodos de clasificación más conocidos son: clasificación AASTHO y el Sistema de Clasificación Unificado USCS más utilizados por parte de los ingenieros de todo el mundo.

**El sistema de clasificación AASTHO**, (American Association of Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASTHO M145) está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y límite plástico.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2, y A-3 son materiales granulares de los cuales 35 % o menos de las partículas pasan a través del tamiz N°200. Los suelos que tienen más del 35 % de partículas que pasan a través del tamiz N°200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7.

**El sistema de clasificación unificada USCS**, (Unified Soil Classification System), designación ASTM D-2487, originalmente fue desarrollado por A. Casagrande (1948) para la construcción de aeródromos durante la segunda guerra mundial. Este sistema fue modificado en 1952 por el mismo autor. El sistema está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, límite líquido e índice de plasticidad.

El método considera dividir en dos partes:

**El primer grupo** se encuentra las gravas, arenas o suelos gravosos arenosos con poco o nada de material fino (limo y arcilla), son designados de la siguiente manera:

G = Grava o suelo gravoso

S = Arena o suelo arenoso

W = Bien graduado

C = Arcilla inorgánica

P = Mal graduado

M = Limo inorgánico o arena fina.

De acuerdo con esta simbología, se pueden agrupar de la siguiente manera, GW, SW, GP, SP, GM, SM, GC, SC.

**Segundo grupo**, Se encuentran los suelos finos, limosos o arcillosos, de baja o alta compresibilidad, son designados de la siguiente manera.

M = Limo inorgánico o arena muy fina

C = Arcilla

O = Limos, arcillas y mezclas con alto contenido de material orgánico

L = Baja a mediana compresibilidad ( $LL < 50\%$ )

H = Alta compresibilidad ( $LL > 50\%$ )

Se pueden agrupar de esta manera CL, CH, ML, MH, OL, OH y grupos Pt.

### Resultados de la práctica

La clasificación se realizó por el sistema AASHTO de las Calles en estudio son:

**Tabla 3.29** Resultados de clasificación AASHTO y SUCS.

Prog	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Granulometría			Índice de Grupo	Clasificación de Suelos		Descripción
			Nº4 (%)	Nº10 (%)	Nº200 (%)		AASHTO	SUCS	
1	NP	NP	100.00	100.00	3.86	0	A - 3 (0)	SP	Arena fina, mal graduada con pocos finos.
1	NP	NP	100.00	99.96	17.86	0	A - 2 - 4 (0)	SM	Grava con mezcla arena limosa.
2	NP	NP	97.08	96.92	45.01	2	A - 4 (2)	ML	Suelo limoso muy compacto fino.
3	19.30	0.77	91.19	90.25	35.42	0	A - 4 (0)	SC	Suelo limoso muy compacto fino.
4	NP	NP	27.02	24.57	8.81	0	A - 1a (0)	GW	Fragmentos de piedra grava y arena con pocos finos.
5	NP	NP	96.12	91.74	27.52	0	A - 2 - 4 (0)	SM	Grava con mezcla arena limosa.
6	NP	NP	57.66	55.00	14.15	0	A - 1b (0)	GP	Fragmentos de piedra grava y arena con pocos finos.
6	NP	NP	100.00	99.88	6.14	0	A - 3 (0)	SP	Arena fina, mal graduada con pocos finos.

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°3**

#### **d) Compactación estándar y modificada**

La compactación de los suelos es el mejoramiento artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos. Se distingue de la consolidación de los suelos, en este último proceso el peso específico del material crece gradualmente bajo la acción natural de sobrecargas impuestas que provocan expulsión de agua por un proceso de defunción; ambos procesos involucran disminución de volumen, por lo que en el fondo son equivalentes.

La importancia de la compactación de los suelos estriba en el aumento de resistencia y disminución de capacidad de deformación que se obtiene al sujetar el suelo a técnicas convenientes que aumenten su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

Existen dos métodos de compactación con el proctor de T – 99 y T – 180 el ensayo que vamos a usar es el proctor modificado T – 180 de acuerdo con la especificación para este método de compactación.

#### **Resultados de la práctica**

**Tabla 3.30** Resultados de compactación.

<b>Muestra de suelos</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Nº de capas	5	5	5	5	5	5	5	5
Nº de golpes por capa	56	56	56	56	56	56	56	56
Contenido de humedad Óptimo (%)	1.71	1.85	1.94	2.06	1.73	1.88	1.88	1.73
Densidad suelo seco Máxima (gr/cm3)	13.3	10.83	9.18	8.3	14.85	9.96	9.96	14.85

Fuente: Elaboración propia.

#### **Ver planillas en ANEXO N°3**

Determinación de la capacidad de soporte CBR programada según los resultados de compactación y humedad óptima.

#### **e) Capacidad de Soporte C.B.R.**

El ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción como también lo son el ensayo proctor y los análisis granulométricos del terreno. Este procedimiento mide la carga

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

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

### Resultados de la práctica

**Tabla 3.31** Resultados de C.B.R.

Muestra	Prog	C.B.R Densidad máxima	
		100%	95%
1	1	34.61	26.71
2	1	36.01	19.82
3	2	10.25	4.81
4	3	3.68	2.93
5	4	35.48	21.38
6	5	53.25	37.77
7	6	49.75	42.51
8	6	22.38	16.34

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.32** Resultados del estudio de suelos.

Muestra	Prog	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Granulometría			Índice de Grupo	Clasificación de Suelos	C.B.R		Descripción
				Nº4 (%)	Nº10 (%)	Nº200 (%)			100%	95%	
1	1	NP	NP	100.00	100.00	3.86	0	A - 3 (0)	34.61	26.71	Arena fina, mal graduada con pocos finos.
2	1	NP	NP	100.00	99.96	17.86	0	A - 2 - 4 (0)	36.01	19.82	Grava con mezcla arena limosa.
3	2	NP	NP	97.08	96.92	45.01	2	A - 4 (2)	10.25	4.81	Suelo limoso muy compacto fino.
4	3	19.30	0.77	91.19	90.25	35.42	0	A - 4 (0)	3.68	2.93	Suelo limoso muy compacto fino.
5	4	NP	NP	27.02	24.57	8.81	0	A - 1a (0)	35.48	21.38	Fragmentos de piedra grava y arena con pocos finos.
6	5	NP	NP	96.12	91.74	27.52	0	A - 2 - 4 (0)	53.25	37.77	Grava con mezcla arena limosa.
7	6	NP	NP	57.66	55.00	14.15	0	A - 1b (0)	49.75	42.51	Fragmentos de piedra grava y arena con pocos finos.
8	6	NP	NP	100.00	99.88	6.14	0	A - 3 (0)	22.38	16.34	Arena fina, mal graduada con pocos finos.

Fuente: Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO N°3

### **3.1.5.3.1. Obtención de materiales de la región**

En cuanto a la siguiente etapa consiste en reconocer el lugar de donde se extraerá la muestra suficiente para realizar la caracterización de los materiales y el estudio, para ello se debe tener en cuenta la accesibilidad a la zona de donde se extraerá la muestra.

Para el proyecto es estudio el lugar de acopio se extrajo de la chancadora en GARECA ubicada en la región de Entre Ríos.

Los materiales que se utilizarán deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO.

Posteriormente todos los ensayos se realizarán en Laboratorio de Tecnología del hormigón y Resistencia de materiales para el procesamiento de datos.

**Figura 3.30** Obtención de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.5.3.2. Caracterización de los agregados grueso y agregado fino**

#### **a) Análisis granulométrico**

Este ensayo tiene por objeto la determinación de las partículas de agregado fino empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares. La muestra debe ser representativa, la cual se obtiene por cuarteo. El peso de la muestra de agregado fino necesario para el ensayo deberá ser de unos 500 gramos.

El peso de la muestra de agregado grueso necesario para el ensayo es de 5000 gramos de grava chancada.

Si se trata de una mezcla de grava y arena se deberá separar usando el tamiz N° 4 y se analizará las partes separadamente.

Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz indicando como primer resultado el de menor tamiz en que pasa el 100 % y expresando el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al del cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo.

### Resultados de la práctica

**Tabla 3.33** Granulometría del agregado grueso, fino de chancadora Gareca.

Peso Total (gr)		5000 Grava	5000 Gravilla	500 Arena
Tamices	Tamaño (mm)	% Que pasa	% Que pasa	% Que pasa
<b>1 1/2</b>	38.10	100.00	100.00	0.00
<b>1</b>	25.40	95.00	100.00	0.00
<b>3/4</b>	19.05	68.00	95.90	0.00
<b>1/2</b>	12.50	0.00	31.30	0.00
<b>3/8</b>	9.50	0.00	11.00	100.00
<b>N°4</b>	4.80	0.00	0.20	96.40
<b>N°8</b>	25.40	0.00	0.00	82.10
<b>N°16</b>	19.05	0.00	0.00	68.70
<b>N°30</b>	12.50	0.00	0.00	55.10
<b>N°50</b>	9.50	0.00	0.00	18.50
<b>N°100</b>	4.80	0.00	0.00	4.80

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°4**

### **b) Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso y fino (ASTM C 127 AASHTO T 85)**

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua

expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por periodo de 24 horas a temperatura ambiente.

### Resultados de la práctica

**Tabla 3.34** Resultados del peso específico de la grava áridos Gareca.

Agregado	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico s.s.s. (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% Porcentaje de absorción
Grava	2.62	2.65	2.71	1.32

Fuente: Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO N°4

### c) Determinación del peso específico y absorción del agregado fino (ASTM C128 AASTHO T84)

El ensayo que se describe a continuación tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Se selecciona una muestra de 2000 gramos que puede ser obtenida por cuarteo; luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Peso Específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada al horno, en gr.

V = Volumen del frasco, en ml

W = Peso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco

$$\text{Peso Específico en condición saturado y superficie seca} = \frac{500}{V - W}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$



$$\% \text{ Porcentaje de absorcion} = \left( \frac{500 - A}{A} \right) \times 100$$

### Resultados de la práctica

**Tabla 3.35** Resultados del peso específico de la arena áridos Gareca.

Agregado	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico s.s.s. (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	% Porcentaje de absorción
Arena	2.58	2.74	2.67	1.39

Fuente: Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO N°4

#### d) Determinación del peso unitario del agregado grueso y fino (ASTM C29 AASHTO T19)

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Para agregados con partículas de un diámetro entre ½” y 1 ½” se usa en molde de ½ pie cúbico.

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7 °C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más la muestra compactada el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

### Resultados de la práctica.

**Tabla 3.36** Resultados del peso unitario de las gravas áridas Gareca.

Agregado	Peso unitario suelto (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario varillado (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )
Grava	1.410	1.541	1.475
Arena	1.76	1.830	1.790

Fuente: Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO N°4

**e) Ensayo de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C131 AASHTO T96)**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los ángeles consistirá en bolas o esferas de acero de 1 7/8" de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr.

El número de esferas de acero que se usará depende de la gradación de la muestra de ensayo y será como sigue:

La muestra de ensayo consistirá en agregado limpio que ha sido secado en un horno a 105<sup>0</sup>C hasta peso constante y tendrá una de las gradaciones que indica el cuadro siguiente.

La gradación que se usa será la que más se aproximada a la del agregado bajo ensayo.

**Tabla 3.37** Pesos de los agregados para el desgaste de los ángeles.

Método		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>Peso total</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
Número de esferas		12	11	8	6
N° de revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación		30	15	15	15

Fuente: Norma ASTM C131.

Los cálculos es la diferencia entre el peso original (P) y el peso (Pf) de la muestra de ensayo será expresado como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo.

Este valor será consignado como porcentaje de desgaste.

$$\% \text{ Porcentaje del desgaste} = \left( \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{final}}} \right) \times 100$$

### Resultado de la práctica

**Tabla 3.38** Pesos del agregado grueso para el desgaste de los ángeles áridos Gareca.

Agregado	Material	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% De desgaste	Especificación ASTM
Grava	B	5000	3897.50	22.05	35% MAX
Gravilla	C	5000	3886.70	28.64	35% MAX

Fuente: Elaboración propia.

### Ver planillas en ANEXO N°4

#### 3.1.5.4. Dosificación de mezcla de hormigón de probetas cilíndricas y vigas prismáticas

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

El procedimiento más práctico es determinar la mezcla y correcciones necesarias en obra. Las determinaciones mínimas de laboratorio proporcionasen eficientemente las mezclas de prueba son: Granulometría, peso específico, absorción y humedad de los agregados.

La metodología de cálculo de diseño de mezcla se emplea la metodología de ACI, para el valor de la relación agua/cemento, combinación de agregados se ajustarán a parámetros y gráficos que líneas más adelante se mencionarán. La resistencia a compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón, siendo también el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad.

#### Características de la mezcla

##### a) Trabajabilidad y cohesión

Es una característica esencial del concreto. Es la facilidad de colocación, consolidación y terminación del concreto recién colocado sin que produzca segregación, exudación o sangrado. La trabajabilidad está relacionada con la consistencia y la homogeneidad.

La docilidad depende también de otros factores:

La cantidad de agua de amasado, cuanto mayor sea este mayor será la docilidad.

La granulometría, siendo más dóciles los hormigones cuyo contenido en arena es mayor. Por otra parte, a más cantidad de arena fina corresponde más agua de amasado.

### b) Resistencia del hormigón

La resistencia a compresión del hormigón es sin duda la característica mecánica más importante, su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas de hormigón según métodos operatorios normalizados. La resistencia del hormigón encontrado corresponde a la resistencia determinado a los 28 días de edad, en probetas cilíndricas; la resistencia proyectada debe ser mayor a 300 -350 kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos rígidos.

### c) Cemento

El cemento que se utilizará será el cemento EL PUENTE con procedencia de Tarija, cemento de tipo IP-30 con las siguientes características.

**Tabla 3.39** Características del cemento.

<b>Análisis químico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado de ensayo</b>	<b>Requisitos según NB 011</b>
PPF	%	3.47	
MgO	%	3,25	Menor a 6.0
SO3	%	2.00	Menor a 4.0
R.I.	%	15.96	
CAL LIBRE	%	0.79	
<b>Ensayos físicos</b>	<b>Unidad</b>		
Tiempo inicial de fraguado: (NB 063)	H: min.	161	Mayor a 0:45
Tiempo final de fraguado: (NB 063)	H: min.	4.54	Menor a 7:00
Expansión (Le-Chatelier C-A): (NB 643)	mm	0.00	Menor a 8
Finura, Superficie Específica según Blaine: (NB 472)	cm <sup>2</sup> /gr	4636	Mayor a 2600
Peso específico: (NB 064)	gr/cm <sup>3</sup>	3.02	No especifica
<b>Ensayos mecánicos</b>	<b>Unidad</b>		
Resistencia a compresión (ASTM C 109)			
3 días	Mpa	22.57	Mayor a 10
7 días	Mpa	26.90	Mayor a 17
28 días	Mpa	31.42	Mayor a 30

Fuente: Norma Boliviana (IBNORCA).

#### d) Agregado grueso y fino

Son partículas minerales procedentes de la chancadora Gareca sus características físicas son:

**Tabla 3.40** Características del agregado grueso de Gareca.

Parámetros	Resultados	Especificación	Conclusión
Material que pasa tamiz N° 200	0	1%	Cumple
Peso específico	2.58 gr/cm <sup>3</sup>		
Absorción	1.39 %	MAX 2%	Cumple
Peso unitario suelto	1.41 gr/cm <sup>3</sup>		
Peso unitario compactado	1.54 gr/cm <sup>3</sup>		
Abrasión de los ángeles gradación B - C	22.05 - 28.64 (%)	MAX 35 %	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.41** Características del agregado fino de Gareca.

Parámetros	Resultados	Especificación	Conclusión
Material que pasa tamiz n° 200	2.58%	MAX 3%	Cumple
Peso específico	2.67 gr/cm <sup>3</sup>		
Absorción	1.39%	MAX 2%	Cumple
Peso unitario suelto	1.76 gr/cm <sup>3</sup>		
Peso unitario compactado	1.84 gr/cm <sup>3</sup>		

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°4**

#### e) Dosificación del hormigón

**Las proporciones nos dieron de mezcla:**

Áridos chancadora de “Gareca” nos dio:

Cemento: 1, Arena: 1.90, Grava: 2.21

**Dimensiones de las Probetas y Vigas**

Diámetro = 15 cm Altura = 30 cm

Dimensiones de las vigas

Altura y ancho = 15cm Largo = 53cm

Volumen de probeta = 0.0053014 m<sup>3</sup>

Volumen de viga = 0.01125 m<sup>3</sup>

**Tabla 3.42** Pesos de materiales secos de áridos Gareca para probetas y vigas.

Materiales	(Kg) para 4	(Kg) para 2
	probetas	Vigas
Cemento	10.40	11.60
Agua	4.00	4.60
Grava	22.80	25.80
Arena	19.60	22.20

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°4**

#### **f) Determinación de resistencia a compresión de probetas**

El objetivo final de la fabricación de probetas cilíndricas es el control de la calidad del hormigón a través del ensayo a compresión de las mismas.

Este ensayo para determinar la resistencia a compresión se realiza por medio de la prensa que comprime la probeta hasta provocar rotura a la misma obteniendo el valor último de carga (llamado carga de rotura) para ese tipo de hormigón.

Antes de realizar el ensayo a compresión se debe medir las probetas y realizar su pesaje respectivo.

#### **Resultados de la práctica**

Se muestra en la siguiente página.

**Tabla 3.43** Resumen de resistencia a compresión de áridos Gareca.

<b>Identificación</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Lectura (KN)</b>	<b>Lectura (MPa)</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Probeta 1	28	537	29.0	309.94
Probeta 2	28	554	30.0	319.99
Probeta 3	28	531	26.9	306.59
Probeta 4	28	537	29.0	309.94
Probeta 5	28	553	29.9	319.24
Probeta 6	28	537	29.0	309.94
Probeta 7	7	411	22.1	237.35
Probeta 8	7	416	22.4	240.35
Probeta 9	21	486	26.2	280.78
Probeta 10	21	416	22.4	240.35
Probeta 11	14	405	21.8	233.83
Probeta 12	14	318	17.4	183.35
Probeta 13	14	322	17.4	185.72
Probeta 14	21	332	17.4	191.73
Probeta 15	28	361	19.6	208.48

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°4**

**g) Determinación de resistencia a flexo tracción de vigas prismáticas**

Para la determinación de resistencia a flexión para las losas en estudio ya en una losa convencional se realizó de la siguiente manera:

Para las losas se realizará el método de la viga simple cargada en los tercios de la luz con dos apoyos en el momento de la rotura a flexión.

**Resultados de la práctica**

Se muestra en página siguiente.

**Tabla 3.44** Resumen de resistencia a flexo tracción de vigas áridos Gareca.

<b>Identificación</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Carga "F" (KN)</b>	<b>Carga "F" (MPa)</b>	<b>Flexotr (fct,f ) (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Viga losa 1	14	28.40	32.90	45.33
Viga losa 2	14	27.80	34.78	44.48
Viga losa 3	14	26.70	33.30	42.72
Viga losa 4	14	26.90	32.62	43.04
Viga losa 5	15	27.90	32.22	43.90
Viga losa 6	15	26.90	34.92	42.33
Viga losa 7	21	27.80	34.78	40.42
Viga losa 8	21	27.60	34.51	40.13
Viga losa 9	21	26.30	35.59	40.13
Viga losa 10	14	26.30	35.46	42.08
Viga losa 11	14	28.30	37.40	45.28
Viga losa 12	28	37.00	48.00	50.32
Viga losa 13	28	29.50	35.50	40.12
Viga losa 14	28	28.92	36.60	39.33
Viga losa 15	28	31.90	41.10	43.38

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°4**

### **3.1.5.5. Estudio de tráfico**

La demanda por una vía está determinada por el flujo de vehículos que circulan por ella. Este flujo vehicular es comúnmente cuantificado como el tráfico promedio Diario anual (TPDA) que simplemente representa la cantidad de vehículos al día que circulan en promedio en ambas direcciones durante el año de referencia.

Para caminos de desarrollo o vecinales se recomienda que la medición del TPDA esté disgregada en las siguientes categorías:

Livianos.

Medianos.

Pesados.

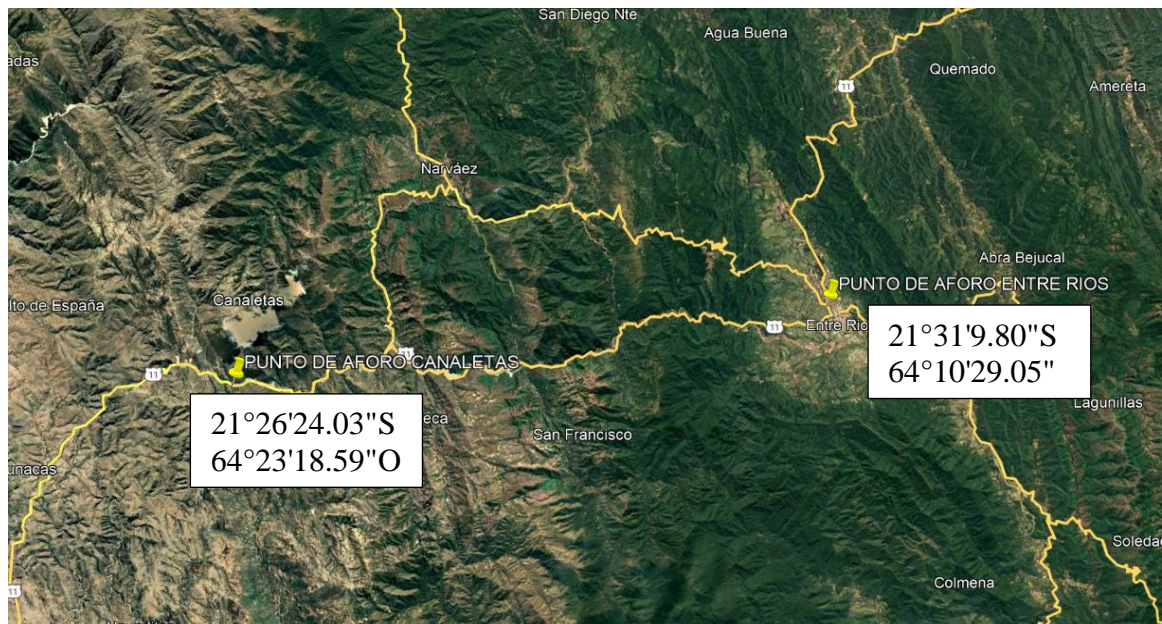


Aunque en la mayoría de los casos no se espera que un camino de desarrollo o vecinal esté congestionado por altos volúmenes de tráfico vehicular, la información aquí registrada permitirá evaluar el potencial productivo y comercial del área de influencia del proyecto.

Se deberá realizar una estimación de la evolución futura de la demanda vehicular y su composición durante la vida útil del proyecto. Para esto será necesario estimar el desarrollo que tendrán las actividades productivas y a partir de eso derivar el tráfico asociado.

A continuación, se muestra la clasificación vehicular que se realizó para el trabajo del conteo en 2 estaciones una ubicada en Canaletas y la otra en Entre Ríos en la carretera nacional.

**Figura 3.31** Ubicación de los puntos de aforo.



Fuente: Elaboración propia.

El conteo que está de acuerdo con la clasificación del servicio nacional de caminos, que sirvieron para realizar la clasificación en la realización del trabajo de conteo de tráfico:

Vehículos livianos: automóviles, camionetas, jeep, vagonetas, otros livianos.

Vehículos medianos: Micro (22 asientos), ómnibus (23-35 asientos) y ómnibus (36 asientos o más).

Vehículos pesados: Camiones pequeño (6 Tn), mediano (6 -10 Tn), grande (10 o más Tn) y camiones con acoplado.

El aforo manual de conteo de vehículos se realizó de dos estaciones para la obtención de información del conteo para el cálculo de tráfico que se usará dicho dato para el dimensionamiento de la losa de hormigón.

La primera estación (Tranca de Santa Ana) permitió registrar a todos los vehículos que salían e ingresaban rumbo a la localidad de Canaletas, el resumen de los datos registrados durante los 7 días y 8 horas (del 22 de julio (Hrs. 7:00) al 29 de julio del 2018 (hrs. 24:00), la segunda estación de la misma manera que la Estación 1, la ubicación de la estación permitió aforar al 100% de los vehículos que transitaron por este punto, el resumen de los datos registrados están contenidos en las tablas siguientes.

Se muestra en la siguiente página.

**Tabla 3.45** Resumen semanal de aforos vehiculares – Estación Canaletas.

Tipo de Vehículo	Fecha en la que se realizó el aforo											Total
	Lunes, 22/07/2018	Martes, 23/07/2018	Miércoles, 24/07/2018	Jueves, 25/07/2018	Viernes, 26/07/2018	Sábado, 27/07/2018	Domingo, 28/07/2018	Lunes, 29/07/2018	Martes, 30/07/2018	Miércoles, 31/07/2018	Jueves, 01/08/2018	
1 Automóviles y vagonetas	61	195	192	250	140	140	100	142	190	202	164	1078
2 Camionetas tipo "Pick-Up" (Hasta 2 Tn.)	52	130	84	80	60	97	103	103	124	113	76	606
3 Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	9	6	11	11	8	5	8	13	11	12	8	58
4 Microbuses	2	6	9	11	7	4	14	5	6	11	5	53
5 Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	3	20	22	9	14	15	14	21	27	26	24	97
6 Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)		17	16	12	15	26	16	37	35	24	28	102
7 Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	10	48	51	55	54	44	49	44	70	67	43	311
8 Camiones de Eje Simple (más de 10 Tn.)	22	75	65	27	45	65	50	74	81	62	58	349
9 Camiones de Eje Tándem (más de 10 Tn.)	12	35	20	8	35	35	40	47	64	43	26	185
10 Camiones con Remolque	5	5	4	2	2	2	2	6	7	2	3	22
11 Camiones con Semi-Remolque		1			2	6	3	3	8	7	5	12
12 Motocicletas	1	1		4	1	2		1	1	1	2	9
13 Otros vehículos (Tractores, maquinas, etc.)	1				2		1	1			1	4
<b>Total</b>	<b>178</b>	<b>539</b>	<b>474</b>	<b>469</b>	<b>385</b>	<b>441</b>	<b>400</b>	<b>497</b>	<b>624</b>	<b>570</b>	<b>443</b>	<b>2886</b>
<b>Composición Porcentual % [total]</b>	3.4	10.6	9	9.9	8.3	8.9	9.3	9.4	11.9	10.8	8.4	59.4
<b>Total [Semana 22/07 al 01/08/2018]</b>					437	471	493	499	630	570	443	1401
<b>% [Semana 22/07 al 01/08/2018]</b>					12.3	13.3	13.9	14.1	17.8	16.1	12.5	39.5

Fuente: Elaboración propia.

Considerando solamente los días correspondientes a los días de la semana representativa, se tiene que el anterior cuadro comprende ambos sentidos, cuya lectura permite concluir lo siguiente:

- El total de vehículos registrados en una semana fue de 3,543 unidades, haciendo un promedio diario semanal de 506 vehículos.
- Ocupan el primer lugar los autos y vagonetas con el 33.7% del flujo vehicular semanal.
- Las camionetas ocupan el segundo lugar con el 19.9%.
- Los Camiones Grandes de Eje Simple ocupan el tercer lugar con el 12.8%.
- Los camiones Medianos alcanzan el 10.5% del volumen vehicular.
- Los viernes 17.8% y sábado 16.1% tienen el mayor flujo vehicular.
- El domingo tiene el menor flujo vehicular.

**Tabla 3.46** Resumen semanal de aforos vehiculares – Estación Entre Ríos.

Tipo de Vehículo	Fecha en la que se realizó el aforo							Total 7 días	Total Diario	%
	Lunes, 22/07/2018	Martes, 23/07/2018	Miércoles, 24/07/2018	Jueves, 25/07/2018	Viernes, 26/07/2018	Sábado, 27/07/2018	Domingo, 28/07/2018			
1 Automóviles y vagonetas	54	216	182	136	152	122	117	979	140	<b>28.8</b>
2 Camionetas tipo "Pick-Up" (Hasta 2 Tn.)	42	144	115	93	82	91	56	623	89	<b>18.3</b>
3 Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	1	7	2	4	4	4	8	30	4	<b>0.9</b>
4 Microbuses	2	12	5	3	4	4	10	40	6	<b>1.2</b>
5 Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	22	44	32	47	36	24	27	232	33	<b>6.8</b>
6 Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	14	38	31	40	25	20	27	195	28	<b>5.7</b>
7 Camión Mediano (De 2,5 – 10Tn)	49	117	91	104	68	66	55	550	79	<b>16.2</b>
8 Camiones de Eje Simple (más de 10Tn.)	6	72	52	28	37	32	41	268	38	<b>7.9</b>
9 Camiones de Eje Tándem (más de 10Tn.)	41	74	61	63	67	61	44	411	59	<b>12.1</b>
10 Camiones con Remolque	5	6	3	6	6	6	7	39	6	<b>1.1</b>
11 Camiones con Semi-Remolque	1	6	2	7	6	2	5	29	4	<b>0.9</b>
12 Motocicletas		2	1					3	0	<b>0.1</b>
13 Otros vehículos (Tractores, maquinaria)	1		1					2	0	<b>0.1</b>
<b>Total</b>	<b>238</b>	<b>738</b>	<b>578</b>	<b>531</b>	<b>487</b>	<b>432</b>	<b>397</b>	<b>3,401</b>	<b>486</b>	<b>100.0</b>
<b>%</b>	7.0	21.7	17.0	15.6	14.3	12.7	11.7	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

El anterior cuadro comprende ambos sentidos. Resaltan los siguientes aspectos:

El total de vehículos aforados en una semana es de 3,401 unidades, haciendo un promedio diario semanal de 486 vehículos.

- Prevalcen los automóviles y vagonetas con el 28.8%.
- Las camionetas ocupan el segundo lugar con 18.3%.
- Los camiones medianos se ubican en tercer lugar con el 16.2%.
- Todos los camiones en su conjunto suman 186 vehículos/día con el 38%.
- Los días de mayor flujo vehicular son el martes 21.7% y el miércoles 17% del tráfico semanal.

#### **3.1.5.5.1. Proyección de tráfico**

Por otro lado considera un tiempo de vida del proyecto de 20 años.

$$FC = \left[ 1 + \frac{IC}{100} \right]^N$$

Donde:

FC=Factor de crecimiento del vehículo tipo i.

IC=Índice de crecimiento del vehículo

N= Número de años, periodo de diseño

Tabla de Tráfico normal en la siguiente página.

**Tabla 3.47** Tráfico normal

Año	Tipo													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Automóviles y vagonetas	Camionetas tipo "Pick-Up"	Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	Microbuses	Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	Camiones de Eje Simple (más de 10 Tn.)	Camiones Eje Tándem (más de 10 Tn.)	Camiones con Remolque	Camiones con Semi-Remolque	Motocicletas	Otros vehículos	
2018	172	105	8	7	29	29	62	48	48	4	4	1	0	517
2019	190	116	9	8	32	32	68	53	53	4	4	1	0	570
2020	208	127	10	8	35	35	75	58	58	5	5	1	0	625
2021	225	138	10	9	38	38	81	63	63	5	5	1	0	676
2022	243	148	11	10	41	41	88	68	68	6	6	1	0	731
2023	261	159	12	11	44	44	94	73	73	6	6	2	0	785
2024	279	170	13	11	47	47	101	78	78	6	6	2	0	838
2025	297	181	14	12	50	50	107	83	83	7	7	2	0	893
2026	314	192	15	13	53	53	113	88	88	7	7	2	0	945
2027	332	203	15	14	56	56	120	93	93	8	8	2	0	1000
2028	350	214	16	14	59	59	126	98	98	8	8	2	0	1052
2029	368	225	17	15	62	62	133	103	103	9	9	2	0	1108
2030	386	235	18	16	65	65	139	108	108	9	9	2	0	1160
2031	404	246	19	16	68	65	145	113	113	9	9	2	0	1209
2032	421	257	20	17	71	68	152	118	118	10	10	2	0	1264
2033	439	268	20	18	74	71	158	123	123	10	10	2	0	1316
2034	457	279	21	19	77	74	165	128	128	11	11	3	0	1373
2035	475	290	22	19	80	77	171	132	132	11	11	3	0	1423
2036	493	301	23	20	83	80	178	137	137	11	11	3	0	1477
2037	510	312	24	21	86	83	184	142	142	12	12	3	0	1531
2038	528	322	25	21	89	86	190	147	147	12	12	3	0	1582

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.48** Tráfico generado 20 % del tráfico normal

Año	Tipo													Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Automóviles y vagonetas	Camionetas tipo "Pick-Up"	Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	Microbuses	Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	Camiones de Eje Simple (más de 10 Tn.)	Camiones de Eje Tándem (más de 10 Tn.)	Camiones con Remolque	Camiones con Semi-Remolque	Motocicletas	Otros vehículos	
2018														
2019														
2020														
2021	45	28	2	2	8	8	16	13	13	1	1	0	0	137
2022	49	30	2	2	8	8	18	14	14	1	1	0	0	147
2023	52	32	2	2	9	9	19	15	15	1	1	0	0	157
2024	56	34	3	2	9	9	20	16	16	1	1	0	0	167
2025	59	36	3	2	10	10	21	17	17	1	1	0	0	177
2026	63	38	3	3	11	11	23	18	18	1	1	0	0	190
2027	66	41	3	3	11	11	24	19	19	2	2	0	0	201
2028	70	43	3	3	12	12	25	20	20	2	2	0	0	212
2029	74	45	3	3	12	12	27	21	21	2	2	0	0	222
2030	77	47	4	3	13	13	28	22	22	2	2	0	0	233
2031	81	49	4	3	14	14	29	23	23	2	2	0	0	244
2032	84	51	4	3	14	14	30	24	24	2	2	0	0	252
2033	88	54	4	4	15	15	32	25	25	2	2	1	0	267
2034	91	56	4	4	15	15	33	26	26	2	2	1	0	275
2035	95	58	4	4	16	16	34	26	26	2	2	1	0	284
2036	99	60	5	4	17	17	36	27	27	2	2	1	0	297
2037	102	62	5	4	17	17	37	28	28	2	2	1	0	305
2038	106	64	5	4	18	18	38	29	29	2	2	1	0	316

Fuente: Elaboración propia.

Realizando el aforo vehicular correspondiente para una semana (7 días), se obtuvo un número promedio de vehículos que circulan en diferentes horarios como se indica en los

anexos a continuación se presentará el tráfico promedio diario por cada tipo de vehículos en la estación que hubo mayor volumen vehicular.

**Tabla 3.49** Aforo promedio diario.

Tipo de vehículo	Tráfico promedio diario	Peso máximo (tn)	Peso máximo (kn)
Automóviles y vagonetas	154	1.5	14.715
Camionetas tipo "Pick-Up"	87	2	19.62
Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	8	2	19.62
Microbuses	8	4.5	44.145
Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	14	6	58.86
Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	15	8	78.48
Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	44	9	88.29
Camiones de Eje Simple (más de 10Tn.)	50	14	137.34
Camiones de Eje Tándem (más de 10Tn.)	26	18	176.58
Camiones con Remolque	3	20	196.2
Camiones con Semi-Remolque	2	15	147.15

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°5**

**a) Índice de crecimiento y factor de crecimiento**

El índice de crecimiento lo estimamos de acuerdo al crecimiento del parque auto motor de acuerdo al tipo de vehículo de los años 2016 y 2017 que se obtuvo del INE (Instituto Nacional de Estadística) del registro de Bolivia.

Se obtuvo el índice de los vehículos que transitaban por las calles con la fórmula

$$i (\%) = \frac{\text{Volumen total 2017} - \text{Volumen total 2016}}{\text{Volumen total 2016}} * 100$$

Utilizando la siguiente fórmula se calculará el factor de crecimiento para un periodo de 15 años y tomando en cuenta los índices de crecimiento.

$$FC = \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n - 1}{\frac{i}{100}}$$

**Tabla 3.50** Índice de crecimiento y factor de crecimiento de la estación Canaletas.

Tipo de vehículo	Índice de crecimiento	Factor de crecimiento
Automóviles y vagonetas	0.026	25.857
Camionetas tipo "Pick-Up" (Hasta 2 Tn.)	0.003	20.484
Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	0.004	20.8
Microbuses	0.004	20.782
Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	0.004	20.782
Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	0.02	24.176
Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	0.037	28.830
Camiones de Eje Simple (más de 10 Tn.)	0.003	20.484
Camiones de Eje Tándem (más de 10 Tn.)	0.003	20.484
Camiones con Remolque	0.02620	25.857
Camiones con Semi-Remolque	0.026	25.857

Fuente: Elaboración propia.

### b) Tránsito de diseño

El tránsito de diseño lo calcularemos con el factor de diseño ya calculado y el volumen diario que salió del aforo realizado por 7 días (1 semana) con la siguiente fórmula:

$$\text{Tránsito de diseño} = \text{TPD} * \text{FC} * 365$$

**Tabla 3.51** Tránsito de diseño de la Estación Canaletas.

Tipo de vehículo	Volumen de tráfico	Tránsito de diseño (TPD)	Tipo de eje
Automóviles y vagonetas	154	1453403.479	Simple
Camionetas tipo "Pick-Up" (Hasta 2 Tn.)	87	638389.4528	Simple
Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	8	61989.98389	Simple
Microbuses	8	56646.01976	Simple
Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	14	103672.9041	Simple
Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	15	126819.7928	Tándem
Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	44	461110.7778	Simple
Camiones de Eje Simple (más de 10 Tn.)	50	367653.3318	Simple
Camiones de Eje Tándem (más de 10 Tn.)	26	194887.8693	Tándem
Camiones con Remolque	3	29254.97637	Trídem
Camiones con Semi-Remolque	2	15957.25984	Trídem

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°5**



**c) Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en ingles)**

Se obtendrá de las tablas previstas por el manual de la AASHTO, estas tablas son específicamente para cada tipo de eje (simple, tándem, trídem) está en función del peso del vehículo y serviciabilidad final de acuerdo al tipo de vehículos transitará en la vía si es de alto tráfico de volumen o bajo tráfico de volumen de vehículos  $P_t = 2$  como se muestran en la tabla 3.51 para el nivel de serviciabilidad y para el factor equivalente que se obtuvo del libro de Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

**Tabla 3.52** Nivel de serviciabilidad.

<b>Nivel de serviciabilidad final</b>	<b>Porcentaje de personas que lo consideran inaceptable</b>
3	12 %
2.5	55 %
2	85 %

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.53** Factor equivalente de los vehículos que circulan en la estación Canaletas.

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Tránsito de diseño (TPD)</b>	<b>Peso máximo (KN)</b>	<b>Tipo de eje</b>	<b>LEF's</b>
Automóviles y vagonetas	1453403.47	14.715	Simple	0.001
Camionetas tipo "Pick-Up" (Hasta 2 Tn.)	638389.452	19.62	Simple	0.004
Minibuses (Hasta 21 pasajeros)	61989.98	19.62	Simple	0.004
Microbuses	56646.01	44.145	Simple	0.080
Buses medianos (Hasta 35 pasajeros)	103672.90	58.86	Simple	0.278
Buses grandes (Mas de 35 pasajeros)	126819.79	78.48	Tándem	0.103
Camión Mediano (De 2,5 - 10 Tn)	461110.77	88.29	Simple	1.525
Camiones de Eje Simple (más de 10 Tn.)	367653.33	137.34	Simple	9.930
Camiones de Eje Tándem (más de 10 Tn.)	194887.86	176.58	Tándem	3.684
Camiones con Remolque	29254.97	196.2	Tridem	1.766
Camiones con Semi-Remolque	15957.25	147.15	Tridem	1.525

Fuente: Elaboración propia.

**Ver planillas en ANEXO N°5**

#### d) Determinación de Unidades ESAL de 18 Kips acumulados (W18)

El número equivalente de ejes de 80 KN (ESAL'S) para una vida útil de 20 años para el barrio Banda Mealla, donde se tomó de la estación de mayor volumen de tráfico diario para el barrio en estudio se calcula con la siguiente fórmula:

$$W18 = N^{\circ} \text{ ESAL} * Fc * Fd$$

Donde:

Fc = Factor de distribución

Fd = Factor de distribución direccional

Para el barrio Banda Mealla se tomará el factor de distribución de dos direcciones se tiene el 50 %

$$Fc = 0.5 \text{ el } 50\%$$

Para las Para el barrio Banda Mealla se tomará el factor de distribución de dos direcciones el factor de distribución es de 2 carriles por dirección de la tabla 3.54:

**Tabla 3.54** Número de ESAL.

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

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

$$Fd = 0.80 \text{ el } 80 \%$$

$$W18 = 5198717.76 * 0.50 * 0.80$$

$$W18 = 1949519.16 \text{ ESAL}$$

#### 3.1.5.6. Diseño estructural de la losa de hormigón

##### 3.1.5.6.1. Método para el diseño de la capa rodadura rígida

El método a utilizar para el cálculo del paquete estructural es el **método de la AASHTO 93** el cual se detalla a continuación.

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left\{ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right\}}{\frac{0.40 + 1094}{((SN + 1))^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Donde:

$W_{18}$  = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 KN) calculadas conforme al tránsito vehicular.

$Z_R$  = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.

$S_0$  = Desviación estándar de todas las variables.

$\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad.

$M_R$  = Módulo de resiliencia de la subrasante.

$SN$  = Número estructural.

### a) Serviciabilidad

Dependiendo de la importancia de la viabilidad, pueden considerarse los valores de serviciabilidad inicial  $P_o$  para pavimento rígido por la norma I.B.C.H. es:

$$P_o = 4.5$$

$$P_t = 2$$

Pérdida de Serviciabilidad

$$\Delta PSI = P_o - P_t = 4.5 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.5$$

### b) Desviación estándar

Para los tramos en estudio se procederá a adoptar como se indica en la tabla 3.55.

**Tabla 3.55** Desviación estándar para pavimento rígido y flexible.

Condición de diseño	Desviación estándar ( $S_0$ )	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

$$S_o = 0.39$$

### c) Drenaje

El coeficiente de drenaje incorpora el efecto de drenaje en la vida de los pavimentos rígidos, desempeño de los pavimentos es una función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante un año en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee de la tabla 3.56, donde la calificación dada al drenaje se relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

**Tabla 3.56** Coeficiente de drenaje.

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	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.00	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

Las condiciones morfológicas de la zona las obras de drenaje indican entre regular y bueno, las características y precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 – 25 % del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación, por lo tanto, el coeficiente global de drenaje adoptado es:

$$Cd = 1.0$$

### d) Nivel de confiabilidad

Bajo el criterio la AASHTO la tabla 3.57 donde se presentan los niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

**Tabla 3.57** Nivel de confiabilidad del pavimento rígido.

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías libres	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 90	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

Se adoptó una confiabilidad de 75 % que cumplirá su función prevista dentro de su vida útil y bajo las condiciones (medio ambiente).

$$R = 75\% \quad Z_r = -0.674$$

**e) Transferencia de carga**

De la tabla 3.58 para el método AASHTO (1993) considera una berma de asfalto y se adoptara con junta sencilla y reforzada del proyecto.

**Tabla 3.58** Transferencia de cargas para pavimento rígido.

Tipo de pavimento	Berma de asfalto		Berma de Ho. vinculada	
	Dispositivos de transferencia		Dispositivos de transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta sencilla y junta reforzada	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Continuamente reforzada	2.9 – 3.2	N/D	2.3 – 2.9	N/D

Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO 93 norma I.C.B.H.

$$J = 3.2$$

**f) Módulo de elasticidad**

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión o a flexión del hormigón se usará la siguiente fórmula:

Resistencia a compresión del hormigón

$$F'c = 281.14 \text{ kg/cm}^2 \text{ o } 3998.65 \text{ Psi}$$

$$E'c(\text{Psi}) = 57000 * \sqrt{F'c}$$

$$E'c = 57000 * \sqrt{3998.65}$$

$$E'c = 3605082 \text{ Psi "Gareca"}$$

**g) Módulo de rotura del hormigón a los 28 días**

Se realizó el ensayo de dosificación de hormigón en vigas del barrio Banda Mealla para obtener la ruptura a flexión del hormigón se realizó del banco “Gareca” 15 muestras para así poder sacar el promedio de la resistencia de rotura a flexión.

**Tabla 3.59** Resistencia a flexión.

<b>Módulo de rotura (Sc)</b>	<b>Banco de Gareca</b>
Sc kg/cm <sup>2</sup>	42.87
Sc lb/pg <sup>2</sup> (PSI)	597.81

Fuente: Elaboración propia.

**h) Módulo de reacción de la subrasante (k)**

Este factor no da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada.

El valor de k se obtuvo a través del ensayo de soporte californiano (C.B.R.) del suelo natural que vendría a ser nuestra subrasante que se obtuvo en laboratorio de suelos estos resultados:

$$\text{C.B.R.} = 3.68 \%$$

Se halló el módulo resiliente efectivo de la subrasante a través de ábacos

$$\text{Mr (PSI)} = 1500 * \text{C. B. R.} < 10\%$$

$$\text{Mr} = 5520 \text{ PSI}$$

Módulo Elástico de la Base y Pérdida de soporte (LS):

LS = 2 se tomó el promedio de los valores de 1-3

$$\text{MEb} = 30000$$

Nos dio un K efectivo de:

$$\text{Espesor de subbase } E = 8 \text{ pulg. } K = 36 \text{ PSI Charaja}$$

**Tabla de resumen**

**Tabla 3.60** Resumen de los parámetros de diseño.

Parámetros de diseño	Estación
	Canaletas
W18 (ESAL')	1949519.16
Po	4.50
Pt	2.00
So	0.39
Cd	1.00
R (%)	75.00
Zr	-0.674
J	3.20
E'c (PSI)	3605082
S'c (PSI)	579.17
K (PSI)	36.00

Fuente: Elaboración propia.

**i) Dimensionamiento del espesor con el programa AASHTO-93**

Se presentan los resultados del programa el dimensionamiento del espesor de la losa no dio 7.88 pulgadas adoptado 8.00 pulgadas junto a los detalles:

**Figura 3.32** Dimensionamiento del espesor de la losa.

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

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**

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

Tipo de pavimento:  Flexible,  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 75 % Zr = -0.674, So = 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial = 4.5, PSI final = 2

Tránsito de diseño: W18 = 1949519.16

Pavimento rígido:

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 36

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 3605081.7

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 597.81

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2

Coefficiente de drenaje - Cd: 1

Espesor de losa D (plg): 7.88

D redondeado (plg): 8.00

W18 real: 2.28E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg): D [ ], W18 [ ]

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

Quitar el control de variables

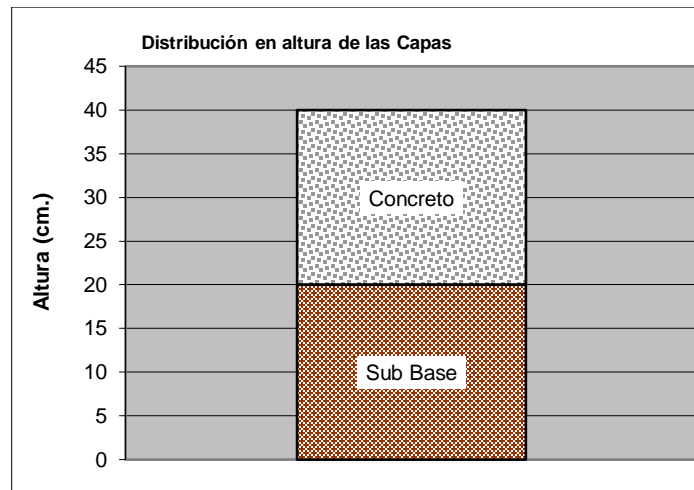
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.61** Espesor del pavimento de concreto calle Capirenda.

Espesor	Unidad (pulg.)	Unidad (cm)
Sub base adoptado	8.00	20.00
Losa de concreto	8.00	20.00

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.33** Espesor del pavimento.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.5.6.2. Diseño de juntas del pavimento rígido

Se diseñará las juntas longitudinales y transversales para las calles del barrio Banda Mealla.

#### a) Diseño de juntas longitudinales

La separación entre juntas está relacionada con el espesor de la losa, como regla no debe ser superior a 24 veces el espesor de la losa, procurando que la relación entre en largo y ancho de las losas este entre 1 y 1.3 la relación es igual a:

$$\text{Relación} = \frac{\text{Longitud de losa}}{\text{Ancho de losa}} \geq 1 - 1.3$$

$$\text{Relación} = \frac{4.30 \text{ m}}{3.60 \text{ m}} = 1.20 \geq 1.3 \text{ cumple}$$

Longitud de la losa = 4.30 metros

Ancho de la losa = 3.60 metros



Las dimensiones adoptadas serán para las calles del barrio Banda Mealla.

### Banco de áridos “Gareca”

Datos

Espesor de losa nos dio:

D = 7.88 pulg. 19.70 cm adoptó 20 cm por diseño de construcción

Cálculo del esfuerzo de la losa

$$\sigma_0 = \frac{2.4 * L * f}{2}$$

Donde:

L = Longitud de la losa (m)

f = Factor de fricción que depende del material bajo la losa se obtiene de la tabla 3.62.

$\sigma_0$  = Esfuerzo de la losa Kg/cm<sup>2</sup>.

$$\sigma_0 = \frac{2.4 * 4.60 * 1.5}{2}$$

$$\sigma_0 = 0.74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_0 = 0.74 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 0.80 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ cumple}$$

**Tabla 3.62** Valores de factor de fricción.

Tipo de material bajo la losa	Factor de fricción f
Tratamiento superficial	2.2
Estabilización con cal	1.8
Estabilización con asfalto	1.8
Estabilización con cemento	1.8
Grava de río	1.5
Piedra triturada	1.5
Arenisca	1.2
Subrasante natural	0.9

Fuente: Elaboración propia.

Las juntas son de construcción se calculará el cálculo de refuerzo a través de la siguiente fórmula:

$$As \text{ (cm}^2\text{/m)} = \frac{(b * f * W)}{f_s}$$

Donde:

As = Área del acero por unidad de longitud de junta (cm<sup>2</sup>/m)

b = Distancia entrejunta y el borde (m)

f = Coeficiente de fricción losa adoptó 1.5

W = Peso de la losa por unidad de área (kg/m<sup>2</sup>)

γ = Peso específico del hormigón (kg/m<sup>3</sup>) 2400 kg/m<sup>3</sup>

Fs= Esfuerzo de trabajo del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

Fy= Esfuerzo de fluencia del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

$$Fs = \sigma_0 * Fy$$

$$Fs = 0.774 * 4200$$

$$Fs = 3250.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$W = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0.20\text{m} = 480 \text{ kg/m}^2$$

$$As \text{ (cm}^2\text{/m)} = \frac{(3.6 * 1.5 * 480)}{1512}$$

$$As = 0.478 \text{ cm}^2 \text{ adoptó área comercial para el diámetro comercial de } 1.267 \text{ cm}^2$$

$$As = 1.267 \text{ cm}^2 - 1/2 \text{ pulgadas}$$

$$P = \text{Perímetro cm} = 3.98 \text{ cm}$$

Para hallar la longitud de la barra de acero corrugado debe ser tal que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta sea igual al esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta.

$$L \text{ (cm)} = \frac{(2 * As * Fs)}{a * p}$$

Donde:

a = Esfuerzo de adherencia entre el acero y el concreto (kg/cm<sup>2</sup>) es igual a:

F'c = Resistencia a compresión del hormigón kg/ cm<sup>2</sup>

$$a = 0.10 * F'c$$

$$a = 0.10 * 281.24 \text{ kg/ cm}^2$$

$$a = 28.124 \text{ kg/ cm}^2$$

$$L \text{ (cm)} = \frac{(2 * 0.712 * 3250.8)}{28.124 * 3.98}$$

$$L = 55.04 \text{ cm}$$

$$L = 66.63 \text{ cm adopto } 68 \text{ cm}$$

Separación entre barras se da con la siguiente fórmula:

$$S \text{ (cm)} = \frac{(\pi * d^2 * Fs)}{4 * b * D * \gamma * f}$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción losa adoptó 1.5

d = diámetro de la barra de acero corrugado (cm)

$\gamma$  = Peso específico del hormigón (kg/m<sup>3</sup>) 2400 kg/m<sup>3</sup>

Fs = Esfuerzo de trabajo del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

D = Espesor de la losa (cm)

$$S \text{ (cm)} = \frac{(\pi * 1.27^2 * 3250.8)}{4 * 360 * 20 * 0.0024 * 1.5}$$

$$S \text{ (cm)} = 133 \text{ cm Mitad } 66 \text{ cm}$$

Se recomienda el uso de varillas corrugadas de acero con un límite de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup> con un diámetro de 12.00 o 1/2" y una longitud de 68 cm, colocados en la mitad del espesor de la losa, separadas a 66 cm de centro a centro.

### **b) Diseño de juntas transversales**

Los pasadores en las juntas transversales deben tratarse en la mitad de la longitud con aceite mineral para evitar la adherencia con el concreto a fin de permitir el libre movimiento de contracción o dilatación de las losas y debe ser lisa.

Se hallará de acuerdo con el espesor que se calculó, donde nos dio de 20 cm. Se seleccionará a través del cuadro de abajo:

Se recomienda usar barras de acero liso con un diámetro 2.54 cm (1"). Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento.

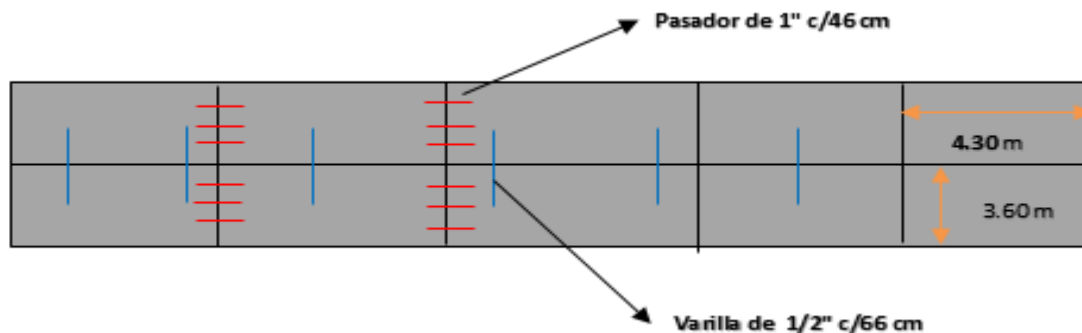
**Tabla 3.63** Requisitos mínimos para pasadores en juntas transversales de pavimento rígidos.

Espesor de la losa (cm)	Diámetro del pasador (cm)	Longitud total (cm)	Separación entre centros (cm)
10	1.27	25	30
11 a 13	1.59	30	30
14 a 15	1.91	35	30
16 a 18	2.22	35	30
19 a 20	2.54	35	30
21 a 23	2.86	40	30
24 a 25	3.18	45	30
26 a 28	3.49	45	30

Fuente: Manual de diseño de pavimento de concreto para vías de bajo medio y alto volúmenes de tráfico (INVIAS).

Se recomienda usar barras de acero liso con un diámetro 2.54 cm (1”). Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento con una longitud de la barra lisa de 46 cm constructivamente.

**Figura 3.34** Ubicación de las armaduras en las losas.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6. Método para el diseño de alcantarillado pluvial

Una red de alcantarillado pluvial es un sistema de tuberías, sumideros e instalaciones complementarias que permite el rápido desalajo de las aguas de lluvia para evitar posibles molestias, e incluso daños materiales y humanos debido a su acumulación o escurrimiento

superficial. Su importancia se manifiesta especialmente en zonas con altas precipitaciones y superficies poco permeables.

Los componentes principales de un sistema de alcantarillado se agrupan según la función para la cual son empleados. Así, un sistema de alcantarillado pluvial, se integra de las partes siguientes:

Conjunto cordón - cuneta

Sumideros (bocas de tormenta)

Cámara de conexión

Tubería de conexión

Cámara de inspección.

Colectores secundarios.

Colector principal.

Como en todo proyecto de ingeniería, para el sistema de alcantarillado Pluvial, se deben plantear las alternativas necesarias, definiendo a nivel de esquema las obras principales que requieran cada una de ellas.

El proyecto consiste en el diseño final de ingeniería del sistema de alcantarillado pluvial para el barrio Banda Mealla Entre Ríos para cumplir las siguientes metas:

- Permitir una rápida evacuación del agua pluvial de las vías públicas.
- Evitar la formación de caudales excesivos en las calzadas.
- Evitar la invasión de aguas pluviales a propiedades públicas y privadas.
- Evitar la acumulación de aguas en vías de circulación.
- Evitar la paralización del tráfico vehicular y peatonal durante una precipitación pluvial intensa.
- Evitar las conexiones erradas del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales.
- Mitigar efectos nocivos a cuerpos de agua receptores por contaminación de escurrimiento pluvial urbano.

Lo anterior será basado en los criterios que se muestran a continuación:

- Tráfico peatonal y vehicular.
- Valor de las propiedades sujetas a daños por inundaciones.
- Análisis de soluciones con canales abiertos o conductos cerrados.

### a) Periodo de Diseño

El período de diseño debe adoptarse en función de los componentes del sistema y las características de la población basándose en la siguiente tabla:

**Tabla 3.64** Periodo de diseño.

<b>Componentes del sistema</b>	<b>Población menor a 20000 habitantes</b>	<b>Población mayor a 20000 habitantes</b>
Interceptores y emisarios	20	30
Plantas de tratamiento	15 a 20	20 a 30
Estaciones de bombeo	20	30
Colectores	20	30
Equipamiento		
Equipos eléctricos	5 a 10	5 a 10
Equipos de combustión interna	5	5

Fuente: Norma boliviana-688 tabla 2.1.

Para este caso se adoptará un periodo de retorno dado de **20 años**.

### Áreas de Aporte

Las áreas de aporte de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, tomando en cuenta los ejes de las calles y su delimitación debe estar acorde a las pendientes naturales de la zona que proveen un drenaje natural.

### b) Caudal de diseño

Para la determinación del caudal de diseño total y para los diferentes tramos se tomará en cuenta el método racional ya que este método calcula el caudal pico de aguas pluviales con base en la intensidad media de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de escurrimiento. Este método es utilizado también debido a que el mismo es recomendado para áreas < 50 Ha. Este método está basado en la siguiente fórmula:

$$Q = C * I * A$$

Donde

C = Coeficiente de escurrimiento.

I = Intensidad de precipitación (mm/hora).

A = Área de aporte (km<sup>2</sup>).

### c) Curvas de Intensidad – Duración - Frecuencia

Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. Se debe verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, éstas deben analizarse para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto. Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información histórica de las lluvias.

La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos.

Esta ecuación debe estar basada en una buena calibración de las curvas IDF con relación a la zona de estudio. La ecuación a utilizar en el proyecto será la obtenida de las tablas que facilitó el docente según el número de lista de clase la cual es:

$$i = \frac{\lambda * T^{\Psi}}{d^{\eta}}$$
$$i = \frac{1496,2761 * T^{0,159804}}{d^{0,8}}$$

### d) Frecuencia de Lluvias

Se tomará en cuenta una frecuencia de **5 años** en base a la norma NB-688 que recomienda que para redes de áreas urbanas residenciales y comerciales se usaran frecuencias entre los 2 – 5 años.

### e) Coeficiente de Escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento es función del tipo de superficie, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escurrimiento.

Para lo cual se determina un coeficiente ponderado en función a la distribución de áreas y los valores de coeficiente de escurrimiento de los elementos normales de las viviendas y las calzadas, las cuales son:

Porcentaje de techos = 55 %

$$C = 0.75$$

Porcentaje de patios con cemento = 25 %

$$C = 0.5$$

Porcentaje de jardines = 20 %

$$C = 0.3$$

Porcentaje de calles pavimentadas = 85 %

$$C = 0.55$$

Porcentaje de calles empedradas = 15 %

$$C = 0.4$$

#### **f) Tiempo de Concentración**

El tiempo de concentración está compuesto por el tiempo de entrada y el tiempo de recorrido o de flujo en el colector.

Para el tiempo de entrada en los tramos de arranque se asumirá un tiempo de **10 min.**

#### **g) Profundidad Máxima**

La profundidad máxima admisible deberá ser de 6 metros ya que generalmente las máquinas utilizadas para la excavación tienen un brazo mecánico de este valor.

#### **h) Velocidad Mínima**

Ya que en las alcantarillas sanitarias se producen obstrucciones por el depósito de materiales de desecho y partículas orgánicas la NB-688 establece que con velocidades iguales o mayores a 0.6 m/s se logra el arrastre de estos sólidos y partículas.

#### **i) Velocidad Máxima**

A nivel nacional se establece que la velocidad máxima de 5 m/s garantizando la misma que las partículas o sólidos que ocasionan erosión se encontrarán en movimiento y no producirán erosiones en alcantarillas.

#### **j) Pendientes**

En tramos en que la pendiente natural del terreno sea muy baja, deben verificarse detalladamente las tensiones tractivas, mientras que, si ésta es demasiado pronunciada, es necesario establecer un número apropiado de estructuras de caída para que los tramos cortos resultantes tengan la pendiente adecuada.



### **k) Diámetro mínimo**

En las redes de recolección y evacuación de aguas pluviales, y principalmente en los primeros tramos, la sección circular es la más usual para los colectores.

El diámetro interno mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales es 200 mm (8 plg). Sin embargo, en casos especiales, y con la justificación del proyectista, puede reducirse en los tramos iniciales a 150 mm (6 plg).

### **l) Cámaras de Inspección**

Las cámaras de inspección forman parte de los sistemas de alcantarillado pluvial, estos se utilizan para acceder a las alcantarillas con el objeto de realizar operaciones de limpieza e inspección.

Las cámaras de inspección son obras relativamente caras debiéndose estudiar bien la colocación de éstas.

La colocación de estas debe obedecer los siguientes criterios:

- En todos los cruces o esquinas de las vías.
- En todo cambio de dirección o pendiente.
- En todo cambio de diámetro.
- En toda unión de colectores.
- En tramos rectos donde la distancia excede a los 150 m.

### **3.1.6.5. Diseño de las obras de alcantarillado**

#### **Parámetros de diseño**

##### **a) Población futura**

$$Pf = Pa * (1 + i)^n$$

Donde:

Pf = Población de diseño (Hab.)

Pa = Población actual (Hab.)

i = Índice de crecimiento (%)

n = Periodo de diseño (años)

Datos

Pa = 2418 (Hab.)

$$i = 0.92 (\%)$$

$$n = 20 (\text{años})$$

**Tabla 3.65** Población de diseño.

Método	(Hab.)
Aritmético	2862.91
Geométrico	2904.0
Wappaus	2908.0

Fuente: Elaboración propia.

$$P_f = 2904 (\text{Hab.})$$

**b) Cálculo de la densidad futura**

$$\text{Área total} = 590.30 \text{ Ha.}$$

$$\text{Densidad futura} = 4.92 \text{ Hab. /Ha.}$$

**c) Cálculo de la dotación**

$$D_f = D_o * \left(1 + \frac{d}{100}\right)^t$$

Donde

$D_o$  = Dotación inicial (l/h/día)

$t$  = Tiempo de diseño (años)

$d$  = Tasa de crecimiento (%)

$$t = 0.92 \%$$

$$D_f = 40 * \left(1 + \frac{0.92}{100}\right)^{10}$$

$$D_f = 43.84 \text{ l/h/día}$$

**d) Alcantarillado sanitario**

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}$$

Donde

$M$  = Coeficiente de punta

$c$  = Coeficiente de aporte 0.7

Pérdidas por malas conexiones = 10 %

Pérdidas (lt/km) = 1.0

$$M = 3.45 (\text{Harmon})$$

**e) Alcantarillado pluvial**

c = Coeficiente de escorrentía 0.5

f = Intensidad de precipitación 25 años

C =107.76

m = 0.6643

n = 0.8388

Te = Tiempo de entrada 10 min

**f) Agua potable**

Caudal medio diario

$$Q_m = \frac{P_f * D_f}{86400}$$

Pf = Población de diseño (Hab.)

Df = Dotación final (l/h/día)

$$Q_m = 1.47 \text{ (lt/s)}$$

Caudal máximo diario

$$Q_{\text{max-d}} = Q_m * k_1$$

Coeficiente  $k_1$  y  $k_2$

El coeficiente de máximo caudal diario es la relación entre el mayor caudal diario verificado al año y el caudal medio diario anual. El coeficiente de máximo caudal diario  $k_1$  varía entre 1.2 a 1.5, según las características de la población. Los valores mayores de  $k_1$  corresponden a poblaciones menores donde los hábitos y costumbres de la población son menores.

Para hallar el coeficiente  $k_2$  varía según el número de habitantes para obtener el valor como se muestra en la tabla 3.66 que fue obtenido de la norma Boliviana NB-688.

**Tabla 3.66** Valores del coeficiente  $k_2$ .

Población (Hab.)	Coeficiente $k_2$
Hasta 2000	2.20 a 2.00
De 2001 a 10000	2.00 a 1.80
De 10001 a 100000	1.80 a 1.50
Más de 100000	1.50

Fuente: Norma boliviana-688.

$$k_1 = 1.20$$

$$k_2 = 2.00$$

$$Q_{\text{max-d}} = 1.77 \text{ (lt/s)}$$

Caudal máximo horario

$$Q_{\text{max-h}} = Q_{\text{max-d}} * k_2$$

$$Q_{\text{max-h}} = 3.54 \text{ (lt/s)}$$

### **Capacidad del tanque**

$$\text{Volumen de regulación} = 34.37 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de reserva} = 25.46 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de incendio} = 788.88 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanque de regulación (Vol.)} = 34.37 \text{ m}^3$$

$$\text{Tanque de almacenamiento (Vol.)} = 59.83 \text{ m}^3$$

### **g) Tanque imhoff**

Parámetros para el dimensionamiento

Tasa de aplicación superficial

$$V_c = 24 \text{ (m}^3/\text{m}^2/\text{día)}$$

Tiempo de Retención hidráulica

$$T = 2 \text{ hr}$$

Volumen de lodos percápita admitida

$$V_{\text{lod.p}} = 30 \text{ (l/hab-año)}$$

Borde libre tanque

$$BL = 0.4 \text{ m}$$

Zona neutra adoptada

$$Z_n = 0.45 \text{ m}$$

Inclinación de las paredes del compartimiento

$$Z = 1$$

Abertura para el paso de lodos = 0.15 m

La planilla de cálculo hidráulico pluvial del barrio Banda Mealla se muestra en la tabla 3.67 que está en la siguiente página.



### 3.1.6.2 Diseño estructural de cámaras pluviales

El cálculo estructural se realizó bajo las normas vigentes Norma Boliviana del Hormigón CBH-87

Por la geometría, disposición arquitectónica y condiciones del terreno se ha considerado realizar el diseño del tanque, bajo este criterio se ha modelado un sistema de muros y losas en tres dimensiones para cada uno de los componentes.

- **Características del suelo y capacidad portante**

Capacidad portante del suelo:  $1.00 \text{ kg/cm}^2$

- **Materiales**

**hormigón:**

Resistencia característica  $f_{ck} = 300 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$\gamma_c = 1.50$

Módulo de elasticidad  $E = 280326 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$

Peso volumétrico  $\gamma = 2.40 \text{ [T/m}^3\text{]}$

Coefficiente de Poisson  $u = 0.20$

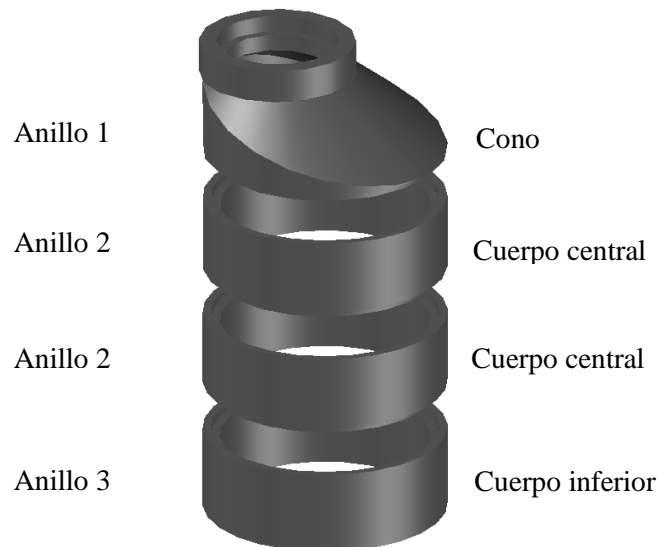
**acero de refuerzo:**

Resistencia característica  $f_{yk} = 5000 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$

$\gamma_s = 1.15$

- Geometría 3d

**Figura 3.35.** Detalle de cámara en 3d



Fuente: Elaboración propia.

- Datos geométricos

#### Anillo 1

El anillo 1 de la cámara es la parte cónica de hormigón armado de espesor 10.00 cm, ver planos estructurales.

#### Anillo 2

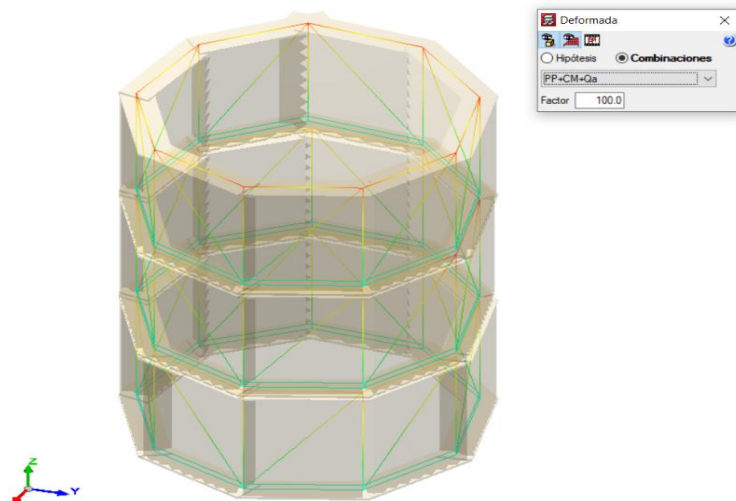
El anillo 2 de la cámara es la parte central de la cámara de hormigón armado de espesor 10.00 cm, ver planos estructurales.

#### Anillo 3

El anillo 3 de la cámara es la parte inferior de la cámara de hormigón armado de espesor 10.00 cm, ver planos estructurales.

- **Análisis y diseño estructural**

**Figura 3.36.** Deformación de la Estructura de cámara



Fuente: Elaboración propia.

- **Esfuerzos y diseño en muros**

Referencias:

Aprovechamiento: Nivel de tensiones (relación entre la tensión máxima y la admisible). Equivale al inverso del coeficiente de seguridad.

$N_x$  = Axil vertical.

$N_y$  = Axil horizontal.

$N_{xy}$  = Axil tangencial.

$M_x$  = Momento vertical (alrededor del eje horizontal).

$M_y$  = Momento horizontal (alrededor del eje vertical).

$M_{xy}$  = Momento torsor.

$Q_x$  = Cortante transversal vertical.

$Q_y$  = Cortante transversal horizontal.

**Tabla 3.68** Esfuerzos y diseños de muros.

<b>Muro M1: Longitud: 44.4626 cm [Nudo inicial: -0.32;0.56 -&gt; Nudo final: 0.11;0.64]</b>										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			$N_x$ (t/m)	$N_y$ (t/m)	$N_{xy}$ (t/m)	$M_x$ (t·m/m)	$M_y$ (t·m/m)	$M_{xy}$ (t·m/m)	$Q_x$ (t/m)	$Q_y$ (t/m)
Anillo3 (e=13.0 cm)	Arm. vert. der.	0.85	-4.59	-1.42	0.30	-0.09	0.00	-0.00	---	---
	Arm. horz. der.	0.16	-4.59	-1.42	0.30	0.09	0.00	-0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	0.85	-4.59	-1.42	0.30	0.09	0.00	-0.00	---	---
	Arm. horz. izq.	0.16	-4.59	-1.42	0.30	0.09	0.00	-0.00	---	---
	Hormigón	3.11	-4.45	-0.47	-1.37	-0.09	0.01	0.00	---	---
	Arm. transve.	0.43	-4.45	-0.47	-1.37	---	---	---	-0.06	-0.22

<b>Muro Anillo 2:</b>										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			$N_x$ (t/m)	$N_y$ (t/m)	$N_{xy}$ (t/m)	$M_x$ (t·m/m)	$M_y$ (t·m/m)	$M_{xy}$ (t·m/m)	$Q_x$ (t/m)	$Q_y$ (t/m)
Anillo2 (e=10.0 cm)	Arm. vert. der.	1.84	-4.51	-1.28	0.23	-0.09	0.00	-0.00	---	---
	Arm. horz. der.	0.23	-4.51	-1.28	0.23	0.09	0.00	-0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	1.84	-4.51	-1.28	0.23	0.09	0.00	-0.00	---	---
	Arm. horz. izq.	0.24	-4.51	-1.28	0.23	-0.09	0.00	-0.00	---	---
	Hormigón	6.63	-4.44	-0.55	-1.16	-0.09	0.01	0.00	---	---
	Arm. transve.	0.62	-4.44	-0.55	-1.16	---	---	---	-0.03	-0.23

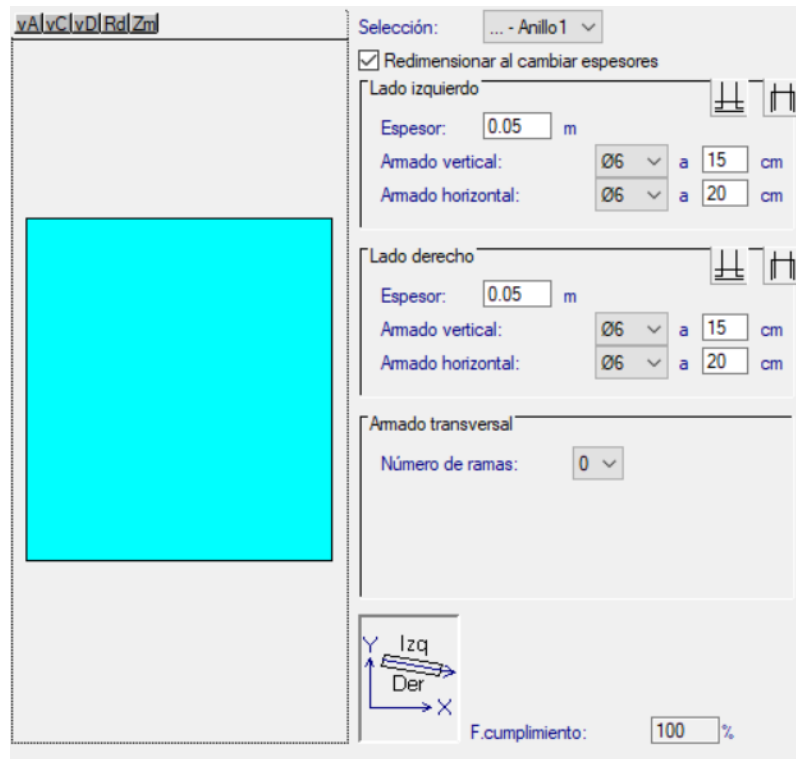
  

<b>Muro M27: Longitud: 44.4626 cm [Nudo inicial: 0.11;-0.64 -&gt; Nudo final: 0.50;-0.42]</b>										
Planta	Comprobación	Aprovechamiento (%)	Pésimos							
			$N_x$ (t/m)	$N_y$ (t/m)	$N_{xy}$ (t/m)	$M_x$ (t·m/m)	$M_y$ (t·m/m)	$M_{xy}$ (t·m/m)	$Q_x$ (t/m)	$Q_y$ (t/m)
Anillo1 (e=13.0 cm)	Arm. vert. der.	0.99	-5.32	-1.62	0.31	-0.11	-0.00	0.00	---	---
	Arm. horz. der.	0.19	-5.32	-1.62	0.31	-0.11	-0.00	0.00	---	---
	Arm. vert. izq.	0.99	-5.32	-1.62	0.31	0.11	-0.00	0.00	---	---
	Arm. horz. izq.	0.18	-5.32	-1.62	0.31	-0.11	-0.00	0.00	---	---
	Hormigón	3.58	-5.12	-0.42	-1.60	0.10	-0.01	-0.00	---	---
	Arm. transve.	0.43	-5.12	-0.42	-1.60	---	---	---	0.05	0.23

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.37.** cálculo de armadura de cámara



Fuente: Elaboración propia.

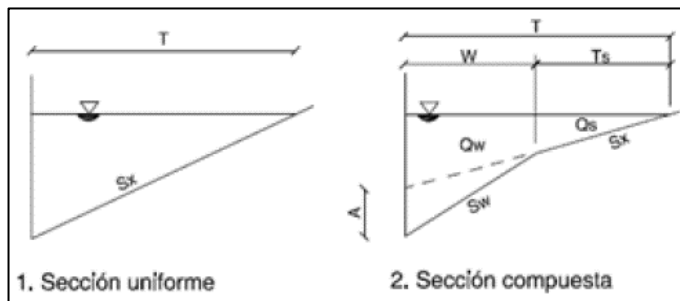
Ver detalle de armados en los planos anexos a este documento.

### 3.1.6.6. Diseño de cordón cuneta

Son canales triangulares con un lado vertical que coincide con el cordón de la vereda, y otro lado inclinado que forma parte del pavimento con una pendiente igual o mayor.

El diseño de las estructuras de micro drenaje se realiza suponiendo flujo estacionario y uniforme, utilizando el caudal máximo de escorrentía generado para la tormenta de diseño.

**Figura 3.38.** fórmula de sección de cuneta



Manning

$$Q(h) = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R(h)^{2/3} \cdot \sqrt{S}$$

Fuente: Elaboración propia.

La sección escogida para el proyecto es uniforme.

Coefficiente manning  $n = 0.018$  para hormigón armado.

En particular el diseño del cordón cuneta está basado en la elección de un ancho máximo de inundación admisible en las calles. Una vez definidas las características geométricas del cordón cuneta, queda determinado el caudal capaz de transportar el mismo. En caso de que dicho valor sea superado por el caudal de diseño, será necesario colocar estructuras de capacidad para evitar la circulación de caudales mayores al admisible.

**Tabla 3.69** cálculo de cordón cuneta

UBICACIÓN			L (m)	S calle (m/m)	n	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	T (m)	Q cordon cuneta (m <sup>3</sup> /s)	Qmax (L/s)
Calle	De	A									
URBANIZACION 1	CM1	CM4	140.29	0.02	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.062	0.005
URBANIZACION 1	CM65	CM4	99.59	0.03	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.080	0.004
URBANIZACION 1	CM4	CM3	80.65	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.031	0.003
URBANIZACION 1	CM65	CM9	80.48	0.03	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.085	0.002
URBANIZACION 1	CM9	CM12	53.09	0.03	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.077	0.004
URBANIZACION 1	CM18	CM66	54.51	0.07	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.127	0.003
URBANIZACION 1	CM66	CM12	118.39	0.03	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.085	0.008
URBANIZACION 1	CM2	CM5	68.51	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.041	0.012
URBANIZACION 1	CM5	CM7	71.06	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.048	0.026
URBANIZACION 1	CM7	CM10	72.65	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.043	0.041
URBANIZACION 1	CM10	CM14	165.20	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.043	0.057
URBANIZACION 1	CM1	CM3	105.29	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.052	0.023
URBANIZACION 1	CM3	CM6	389.44	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.019	0.035
URBANIZACION 1	CM6	CM8	71.05	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.058	0.053
URBANIZACION 1	CM8	CM11	72.86	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.041	0.069
URBANIZACION 1	CM11	CM13	268.61	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.021	0.089
URBANIZACION 1	CM13	CM19	202.15	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.039	0.115
URBANIZACION 1	CM19	CM20	48.86	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.033	0.014
URBANIZACION 1	CM20	CM64	64.79	0.02	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.065	0.029
URBANIZACION 1	CM64	CM25	170.88	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.039	0.055
URBANIZACION 1	CM25	CM29	691.40	0.02	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.068	0.090
URBANIZACION 1	CM29	CM31	51.23	0.02	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.068	0.130
URBANIZACION 1	CM31	CM34	164.63	0.02	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.068	0.123
URBANIZACION 1	CM12	CM21	394.12	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.044	0.048
URBANIZACION 1	CM21	CM26	208.32	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.050	0.069
URBANIZACION 1	CM26	CM30	47.00	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.028	0.069
URBANIZACION 1	CM30	CM32	46.00	0.03	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.078	0.073
URBANIZACION 1	CM32	CM34	137.38	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.048	0.084
URBANIZACION 1	CM18	CM22	286.05	0.04	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.091	0.047
URBANIZACION 1	CM22	CM27	424.01	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.032	0.091
URBANIZACION 1	CM27	CM33	205.05	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.046	0.114
URBANIZACION 1	CM33	CM35	157.10	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.044	0.137
URBANIZACION 1	CM24	CM23	111.56	0.03	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.085	0.035
URBANIZACION 1	CM23	CM22	112.26	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.039	0.031
URBANIZACION 1	CM27	CM28	112.05	0.00	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.017	0.021
URBANIZACION 1	CM13	CM15	97.27	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.048	0.005
URBANIZACION 1	CM15	CM17	514.38	0.02	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.073	0.042
URBANIZACION 1	CM10	CM16	252.29	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.037	0.030
URBANIZACION 1	CM16	CM17	15.83	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.058	0.030
URBANIZACION 1	CM17	CM25	371.01	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.042	0.067
URBANIZACION 1	CM34	CM35	2138.05	0.01	0.018	0.06	0.09	3.04	2.9	0.048	0.135

Fuente: Elaboración propia.

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se ha hecho una recopilación de datos referente a los pavimentos rígidos tanto como para tener un buen control de calidad de estos en la obra como un buen nivel de servicio al usuario.
- Analizamos las limitaciones y las expectativas que nos ofrece el concreto en la pavimentación y planteamos sus ventajas sobre el pavimento flexible, siendo estas apoyadas con una serie de propiedades y descripciones de sus funciones de trabajo en distintas condiciones.
- Se analizó el diseño más profundamente y se expusieron los datos de interés para el diseño y las variables que entran en este se recopiló información necesaria para llegar a concretar un resultado aceptable para el pavimento rígido.
- Se logró cumplir los objetivos planteados, del diseño final de pavimento rígido con la aplicación del método AASHTO – 93 donde se planteó una losa de 4.5x3.6 metros de losa convencional.
- Con el levantamiento topográfico de la vía existente se determinó las características geométricas de la rasante, llegando a la conclusión de que la vía mantenga el trazo actual, debido a que cumple con las normas establecidas para este tipo de vías, sin embargo, se realizaran las mejoras correspondientes como ser la ampliación del ancho de calzada para una carretera de doble carril y proyectando además bermas.
- Según el estudio de tráfico vehicular realizado se determinó un número de 1949519.16 ESAL para 20 años de periodo de diseño, siendo este de baja circulación.
- Realizado el estudio de las 8 muestras pertenecientes a la subrasante, se establece que existe un predominio de los suelos finos con un 86.67 % con relación a los suelos granulares, dentro del grupo de los suelos granulares se observó igualdad de porcentajes entre suelos A - 1 y A - 2 con un 13.33 % mientras que en finos como la arcilla con un 20% y el predominio del limo con un mayor porcentaje de suelos A - 4 con 66.67% del total de las muestras.
- Se realizó el ensayo de relación soporte de california de los tipos de suelos determinados de los tramos del barrio en estudio, en los cuales el C.B.R. menor se presenta en los suelos

A - 4(0), con un valor de 3.68 % al 100 % de la densidad máxima cuyo valor es el que se adoptó para el diseño del paquete estructural.

- Mediante los análisis de laboratorio de suelos desarrollados se concluye que las características del suelo de la subrasante son de regular a buena calidad, por lo que para la ejecución del proyecto no se requerirá de subrasante mejorada, siendo este aspecto en extremo importante debido a que los costos de construcción serán menores.

- Los resultados obtenidos del ensayo a flexión de las muestras de hormigón elaborados en el laboratorio, se cumplió con la resistencia de diseño que fue de 40 kg/cm<sup>2</sup>, que está dentro de los parámetros de 35 a 50 kg/cm<sup>2</sup>, los valores obtenidos fueron:

Banco de “Charajas” un valor de 42.03 kg/cm<sup>2</sup>.

- El análisis y evaluación de las características de la zona de influencia permiten la aplicación del método AASTHO para el Diseño Estructural mediante pavimento rígido de las calles del barrio Banda Mealla.

- Se ha logrado diseñar el paquete estructural de las calles, definiendo los espesores del mismo, utilizando el método AASHTO, que es un método empírico utilizando el Paquete Computacional DarWIN 3.0 - AASHTO-93.

- Con relación a la aplicación del paquete computacional AASHTO-93 se llegó a la conclusión de que los valores lanzados por el paquete son más exactos que un cálculo manualmente para la determinación de los espesores de las capas mediante el método de capas en la cual se utilizan ábacos para la determinación de los números estructurales de las diferentes capas, esto arrastra un error ya que en el ábaco se determinan los módulos elásticos o resilientes a ojo, estos valores podrían ser adoptados de diferente manera por cada persona.

- Como conclusión final se puede decir que el presente proyecto es un producto de los estudios realizados a las características físico-mecánicas de la zona del proyecto, de las metodologías de diseño del pavimento rígido, cumpliendo así con todos los objetivos planteados al inicializar el desarrollo del proyecto. Es una satisfacción haber cumplido con las metas trazadas del proyecto y con el aporte académico que significa la culminación del mismo.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- Cuando se realiza el diseño del pavimento aplicado a una determinada zona, no solo es necesario ver el aspecto económico, sino que hay que realizar un estudio minucioso de las condiciones técnicas, variables, parámetros y factores que intervienen en la metodología del diseño de pavimento rígido, se tuvo que observar los aspectos positivos y los aspectos negativos del diseño de pavimento rígido, para ver cómo se ajusta a la zona elegida del emplazamiento del pavimento con concreto, también de forma subjetiva se vio la seguridad, realizando de esta manera la propuesta planteada.
- Algo muy importante antes de realizar la construcción de la carpeta estructural deberá notificar a los habitantes del lugar, a que todos realicen su instalación sanitaria y también la alcaldía ejecute un estudio sobre la red de alcantarillado sanitario como pluvial con un periodo igual al diseño de nuestra carpeta estructural.
- Antes de la ejecución del proyecto se deberá prever qué calles serán las primeras en realizar su construcción por motivo de no causar un caos con el tráfico vehicular.
- Es muy importante que la empresa constructora realice un estudio más profundo del banco de materiales antes de ser empleado en el paquete estructural como ser la subrasante y Base, ya que cada capa tiene sus propias características.
- Los pavimentos de concreto pueden ser construidos con mejor calidad que cualquier otro material de construcción de pavimentos. La calidad de los pavimentos de concreto depende de una gran variedad de variables, podemos controlar todo excepto las condiciones climatológicas del entorno a la construcción.
- Se recomienda que al proyectar un pavimento de concreto hidráulico no se deberá ahorrar en el espesor, porque unos centímetros de más pueden suponer un gran incremento en su vida útil, si por el contrario una ligera disminución del espesor suele tener un efecto sensible en el acortamiento de su vida útil. Por estas razones explicadas al ejecutarse la construcción se debe tener una constante vigilancia para que se respeten los espesores del diseño.
- La experiencia muestra que por los bajos costos de mantenimiento que presentan los pavimentos rígidos, son estos los más adecuados a nuestra realidad por ser estos los que menos costo representan en el tiempo.

- Actualmente el barrio Banda Mealla cuenta con el servicio alcantarillado sanitario, pero no así del alcantarillado pluvial, el cual debería ser implementado antes de cualquier proyecto que se refiera al pavimentado, ya sea rígido, flexible o articulado para que los sumideros proyectados puedan cumplir con el fin previsto y de esa manera poder evacuar el agua pluvial.