

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROBLEMA Y LOCALIZACION

Tarija y las comunidades de la provincia Méndez, a la fecha, experimenta un desarrollo acorde a las necesidades de su crecimiento poblacional de manera vertiginosa que implica la solución de problemas estructurales de servicios básicos, educativos, hospitalarios, etc., sin embargo la necesidad que más se visibiliza y que tiene que ver con la comunicación e integración vial con sus barrios, zonas urbanas y comunidades, es la calidad de sus caminos y calles que en la mayoría de los tramos no garantiza un tráfico vehicular acorde al desarrollo urbanístico.

El crecimiento vegetativo y mancha urbana, tanto de la capital de Departamento, sus comunidades y barrios, implica el mejoramiento de sus calles y avenidas de manera integral. La integralidad implica la necesidad de adecuar los pavimentos más convenientes en la medida que las categorías de superficies se mejoran como respuesta a las crecientes demandas de desarrollo y modernización de su red vial impuesta por los volúmenes de tráfico vehicular, crecimiento poblacional, necesidades urbanísticas, etc.

Algunos de estos tramos soportaron en el año 2013 más de 234 vehículos por día, 20 visitantes en días de semana y superando las 50 familias entre sábados y domingos particularmente en la zona de La Victoria. Con estos datos se debe configurar la importancia de nuestras vías y lo importante que resulta en discernir en temas relacionados con los diseños de pavimentos de nuestra red vial urbana básica y el crecimiento del tráfico de vehículos por día, considerando además que la zona donde será emplazado el proyecto, tiene un crecimiento exponencial reflexionando varios aspectos muy importantes como el turístico a la zona, el tráfico de movilidades destinadas únicamente con la provisión de Pan al mercado de la capital el tráfico vehicular de alto tonelaje por las condiciones de zona productora de tubérculos, y cereales, la existencia de viviendas de familias que tienen sus

fuentes de trabajo en la ciudad que requiere el transporte de vehículos particulares y vehículos de transporte masivo como el público y la movilización de su productos hacia otros mercados.

Por otra parte, el municipio de Méndez, se ha ido transformando en estos últimos 10 años, es así que los cambios en la infraestructura urbana a través de la ejecución de programas y proyectos viales, de educación, de salud, están forzando una nueva fisonomía como una ciudad moderna y preocupada del bienestar de sus habitantes, al igual que en el área rural, donde además de los proyectos de educación, salud, servicios básicos, etc., se ha generado un equilibrio urbano rural.

Los análisis de tráfico efectuados nos muestra de manera inicial como lo mencionamos línea arriba los volúmenes de tráfico, además de los tipos de vehículos que incluye además de sus pesos de dichos vehículos que transitan y transitaran por la zona, por las características también mencionadas de la zona, nos muestra las predicciones de tráfico que circulara por la vía durante la vida útil de la misma y que más adelante de manera detallada y técnica, se demostrará.

## **1.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA**

### **1.2.1 Latitud y Longitud**

**El Departamento de Tarija** se ubica en el extremo Sur Este del país, entre los paralelos 20° 53' 00'' y 22° 52' 30'' de Latitud Sur y entre los meridianos 65° 25' 48'' y 62° 15' 34'' de Longitud Oeste.

**La provincia Méndez** se sitúa al Noreste del departamento de Tarija, entre los paralelos 20°56' y 21°36' de latitud sud y los 64°05' y 65° 13' de longitud oeste. La provincia Méndez, política y administrativamente se divide en dos secciones municipales: San Lorenzo y El Puente.

**El municipio de San Lorenzo**, política y administrativamente corresponde a la primera sección de la provincia Méndez. Se encuentra ubicada al Este de la provincia, entre los paralelos 20 ° 57' y 21 ° 36' de Latitud Sud y 64 ° 25' y 64 ° 58' de Longitud Oeste.

### **1.2.2 Límites**

La Provincia Méndez limita al Norte y al Oeste con el Departamento de Chuquisaca, al Sur con las Provincias de Avilés y Cercado, al Este con las Provincias de O'Connor y Cercado.

El municipio de San Lorenzo, que corresponde a la primera sección, limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al sur con las secciones municipales de Cercado y Avilés, al este con las secciones municipales de Cercado y O'Connor y al oeste con la segunda sección municipal de la provincia Méndez.

### **1.2.3 Extensión**

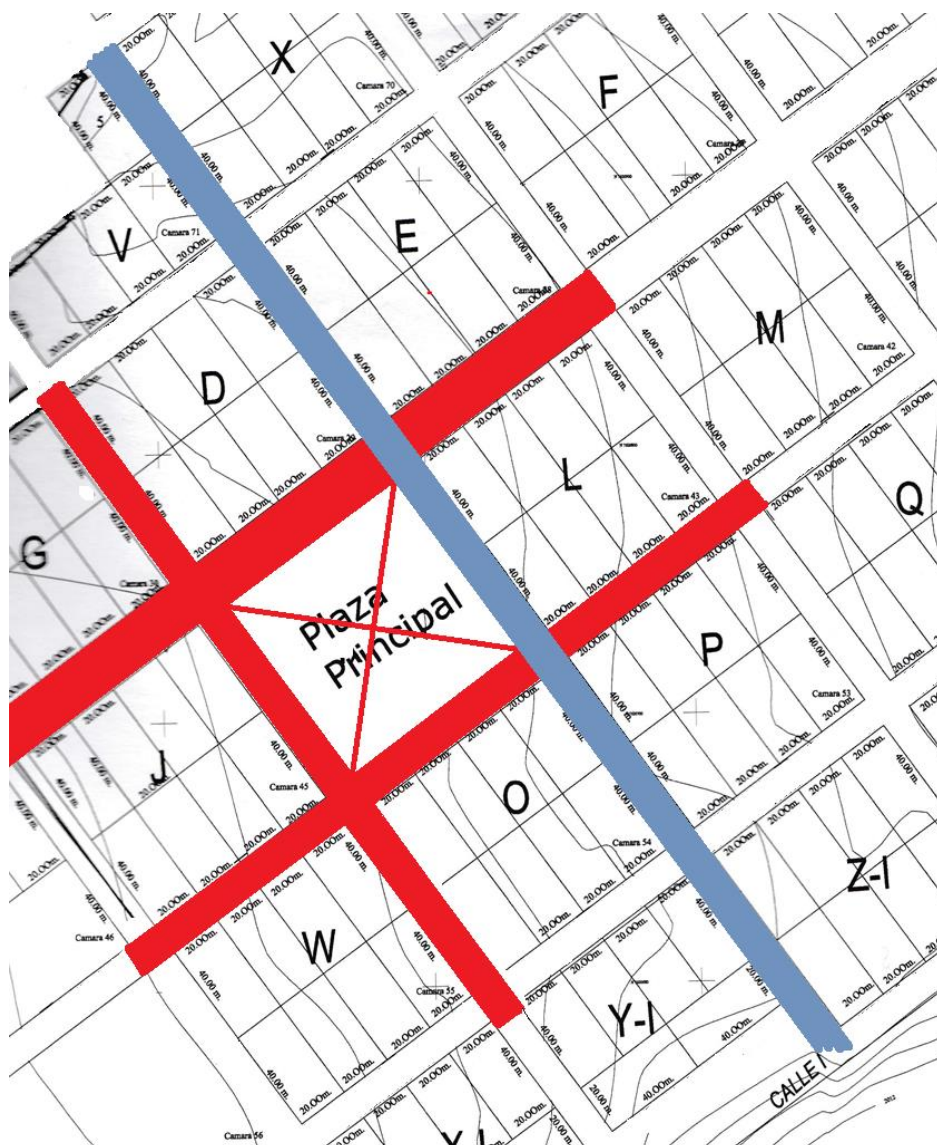
El Departamento de Tarija tiene una extensión territorial de 37. 623 km<sup>2</sup> de los cuales el Municipio de San Lorenzo tiene 3.454 Km<sup>2</sup> (área obtenida de la cartografía ESC: 1: 250.000), correspondiéndole en cifras relativas el 9,2 % del territorio departamental.

Dentro la actividad económica principal de la zona en cuestión, es la producción de tubérculos, principalmente de una variedad de papas que son transportadas en grandes cantidades a los mercados de la Ciudad, provincias y a los departamentos del interior del País, producción de hortalizas, y la elaboración de Pan, siendo este el producto que más se expende en mayor cantidad en la Capital del Departamento.

El turismo es cada día mas creciente, precisamente por las ferias institucionalizadas que se llevan a cabo durante todo el año, las fechas costumbristas, regionales y las actividades previstas por el municipio de Méndez con motivo del carnaval, su campaña rodeada de ríos, la calidez de su gente joven, aportan a que esta zona este catalogada de importante para el turismo departamental.

En el municipio de la Provincia Méndez y la Ciudad de Tarija la población rural durante el año 2009 alcanzó al 21.15 % y la urbana al 79.85 %, el 2010. El 50% de la Población es menor de 23 años, el 80% de la población está concentrada en el área urbana, con una tasa de crecimiento poblacional del 3.07%, y una tasa de migración anual del 3.9%, siendo la segunda tasa a nivel nacional.

### 1.2.4 Zona de Emplazamiento



La zona de emplazamiento de este proyecto, involucra a la Comunidad de *la Victoria* (Cantón del Rincón de la victoria) del municipio de Méndez de la ciudad de Tarija la misma que está ubicado a 15 kilómetros de la ciudad. Esta zona es de gran importancia porque corresponde a una vía municipal, y su proximidad a la ciudad de Tarija, hace que se convierte en una red vial de importancia para la economía y el desarrollo del Departamento.

Para garantizar que la vía ofrezca un nivel de serviciabilidad adecuado que genere bienestar, confort y seguridad tanto al comercio, al turismo y al transporte urbano, es necesario una vía que se encuentre en buen estado y que se ajuste a las condiciones tanto del tránsito, nivel de importancia y tipo de terreno particularmente en el tramo comprendido por el Proyecto por tratarse el centro del poblado.

Con el objetivo de conseguir una vía que se acomode a las condiciones a las cuales es sometida, se propone a través del presente estudio la alternabilidad de pavimento articulado y pavimento rígido de acuerdo a los métodos de la AASHTO y el método racional, junto con el estudio de pavimento rígido por el método de la PCA, respectivamente, que se implementara conforme lo enunciado líneas arriba en la zona de influencia, mas propiamente en la plaza principal de dicho centro poblado y sus calles de acceso.

La Comunidad de La Victoria ubicada a 15 kms. de la ciudad, es una zona paradisíaca con mucha vegetación, el rincón de la victoria constituye uno de los lugares de mayor atracción turística de Tarija, es el marco ideal para los fines de semana con un panorama donde el verde se manifiesta en todas sus tonalidades

El Rincón de la Victoria, es parte de la Reserva Biológica de la Cordillera de Sama, ubicado en la provincia Méndez, es considerado uno de los atractivos naturales más importantes del departamento de Tarija. Alrededor de 30 minutos son los necesarios para llegar a este hermoso paraje natural, y en cuanto al bolsillo, sólo son necesarios tres bolivianos que es el precio del pasaje de ida y vuelta en microbús hasta esta localidad en caso de utilizar transporte público y quizá un poco más si se pretende llenar el tanque del

automóvil para disfrutar de las maravillas naturales de la comunidad de la Victoria como de su Cantón denominado El Rincón de La Victoria.

El paisaje está rodeado de grandes pinos, vegetación que acompaña al viajero a lo largo y ancho de su viaje, que casi en su totalidad, ha de ser a pie, ya que no existe ruta alguna para ningún tipo de vehículo, sino caminos, en algunos casos, poco marcados, de los cuales hay que tener especial cuidado si no se conoce bien la zona o no se tienen conocimientos previos sobre caminatas en montaña.

En cuanto al clima, generalmente templado con una humedad elevada, así que nunca viene de más llevar alguna chaqueta. Al ser parte de una reserva biológica, se ha de tener especial cuidado a la hora de introducir cualquier objeto que pueda dañar el ecosistema, particularmente se deberá considerar la disposición final de la basura y otros objetos que sean incompatibles.

Por otro lado, es un lugar idóneo para relajarse y salir de la rutina, ya que la misma vegetación y el río cuya agua es prácticamente potable, son el mejor sonido que al viajero pueden acompañar.

Por último, para los amantes de la fotografía, los amaneceres desde la punta de uno de sus cerros, son un buen momento para poner a rienda suelta toda la imaginación posible.

### **1.3 MOTIVO Y RAZON DE ESTUDIO**

Este constante crecimiento del municipio y área rural, ha hecho de la provincia y particularmente de la zona involucrada dentro este proyecto un centro de atracción generando una gran inmigración, que sumada a la tasa de crecimiento de la ciudad y del área urbana como rural, generan nuevos desafíos para las nuevas gestiones municipales, que se transforman en la construcción de nuevos barrios, la construcción y el mejoramiento vías de comunicación urbana, la demanda del mejoramiento de los actuales, equipamiento de áreas verdes, lugares de expansión y finalmente tramos peatonales. Somos conscientes,

que cada día que pasa así como se cubren ciertas necesidades de la población, nacen otras, en este sentido el presente **Estudio de Grado** nos permite ofrecer a la zona en cuestión de una infraestructura vial que reúne las condiciones técnicas que garanticen su vida útil de la infraestructura y ofrecer la explotación del turismo a través de los visitantes, proporcionándoles de una vía segura, moderna y acorde a los tiempo de vertiginoso desarrollo, sin descuidar y tomando en cuenta que la zona es potencialmente turística, productora de tubérculos de excelente calidad y elaboradora de excelente calidad de Pan en cantidades industriales organizadas por todas las familias en microempresas que abastecen los mercados de la región capitalina.

En algún momento, esta propuesta también aportará y orientará el accionar de los Gobiernos Municipales en la ejecución de proyectos de infraestructura vial (apertura y mejoramiento de caminos vecinales, puentes, calles, avenidas, peatonales, etc.) que permitan una comunicación continua, mejorar las condiciones de vida, fortalecer el turismo y el transporte de la producción a los diferentes mercados regionales y/o nacionales.

#### **1.4 OBJETIVOS.**

Por todo lo mencionado en los anteriores acápite y considerando el crecimiento poblacional, vehicular y particularmente la importancia para la zona, con el diseño de los tipos de pavimento propuestos a la plaza principal y sus accesos a la misma, pretende durante el tiempo de vida útil, absorber las dificultades y necesidades que conlleva la carencia de calles pavimentadas o de calles que solamente son de tierra y en los mejores casos empedrados, de parqueos y tráfico de movilidades sin las condiciones reglamentarias de seguridad y comodidad, adicionando además una buena educación vial y al mismo tiempo dar apertura a otros servicios públicos de micros y trufis hasta una parada terminal y funcional, paralelamente la comunidad adquirirá mayor categoría urbanística que permita garantizar de manera óptima el turismo local, nacional e internacional que es el que más se ve en la zona dada la cercanía con la Republica de la Argentina, que dicho de paso una buena cantidad de los pobladores de *La Victoria* migran temporalmente a dicha Republica y vuelven a engrosar el parque automotriz con movilidades adquiridas en ese vecino País.

Y finalmente dar fluidez y comodidad al incremento de la actividad socioeconómica y productiva de la región y en particular de todo el Canton.

Por otra parte, lo que se pretende mostrar en el presente **Proyecto de Grado**, es la utilidad del Pavimento Articulado y Rígido por sus condiciones técnicas óptimas, condiciones económicas y sociales para los propósitos identificados y mencionados, además que tiene que ver con los costos de implementación, facilidad de emplazamiento, afirmando además será un aporte muy importante para que el Municipio de Méndez particularmente direcciona esta técnica hacia sus nuevos proyectos viales por las condiciones de factibilidad económica, social y técnica.

Este proyecto tiene como característica fundamental el mejoramiento de la calzada del entorno de la plaza y sus calles de acceso en la zona poblada de *La Victoria*, a través del presente trabajo, realizando una comparación técnica - económica entre el pavimento articulado y pavimento rígido que dicho de paso forzara el emplazamiento de otros proyectos de equipamiento que el municipio tiene previsto como los servicios de alcantarillado sanitario y pluvial en los domicilios, como también la construcción de áreas verdes y de recreación para toda la población, campos deportivos y finalmente el asentamiento de nuevas construcciones particulares como públicas.

Conceptualizando el acápite y de manera cuali-cuantitativamente los alcances y propósitos del mismo, se menciona de la siguiente manera:

#### **1.4.1 Objetivo General**

- Demostrar la Factibilidad Técnica y Económica del Pavimento Rígido y Articulado

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar las condiciones geotécnicas del terreno por medio de ensayos y análisis del suelo
- Caracterizar por medio de apiques la subrasante y las capas del terreno.
- Determinar el tipo de tránsito, volumen y las cargas a las que el pavimento será sometido durante el periodo de diseño.
- Determinar los espesores de las capas del pavimento, por medio de los diferentes métodos de la AASHTO, método racional, Marshall Shell y PCA
- Determinar los materiales del diseño de pavimentos.
- Mejorar las condiciones de vida de los pobladores de la región con el incremento de sus ingresos económicos.
- Proporcionar a los pobladores y visitantes de un área verde para su esparcimiento.

### **1.5 ALCANCE DE TRABAJO**

Cualquier obra que se diseña y construye, siempre es en beneficio de la población y por ende del desarrollo urbano y arquitectónico del poblado; es en este sentido que se plantea como necesidad prioritaria la construcción de pavimento que permita el mejor flujo vehicular de carácter privado y público, este último que involucra al turismo generador de la economía regional y Departamental.

Esta actividad de modernización en el aspecto vial prevé el alcance de trabajo que consiste en ordenar el tráfico dentro del área involucrada, estudio de tráfico, estudio de suelos, diseño geométrico, diseño estructural de pavimento articulado y pavimento rígido (comparación técnica – económica), iluminación, drenajes, áreas verdes, presupuesto general, cronograma de ejecución, precios unitarios, cómputos métricos, especificaciones técnicas, condiciones técnicas de construcción etc.

El proyecto de diseño de la infraestructura propuesta, se realizara con el fin de mejorar las condiciones de comunicación interprovincial entre la zona involucrada por el Proyecto y capital del departamento debido a que es una ruta de gran importancia para el desarrollo económico y socio productivo del departamento.

Una evaluación funcional realizada a la calzada existente, hace visible y notoria la necesidad de realizar una evaluación estructural del mismo. De dicha evaluación estructural se determinó, que la estructura existente presenta elevados índices de deterioro propios además del tipo de la calzada que consiste únicamente de tierra, que no solo queda como daño vial, sino que conlleva otros matices de afección como la proliferación de charcos de agua habitad de insectos, lodazales que son perjudiciales para vehículos y peatones, impacto negativo al medio ambiente y por ultimo mala imagen para el turismo local al cual se pretende potenciar desde la capital del Departamento; en consecuencia se recomienda la reconstrucción total, y la realización de un nuevo diseño de pavimento, que proporcione seguridad y comodidad a los habitantes de la zona y un equipamiento al área verde para brindar al visitante la comodidad, confort, descanso y esparcimiento.

El diseño consiste en un pavimento flexible por los métodos de la AASHTO y racional, y un pavimento rígido por el método PCA (Portland Cement Association). Los lineamientos que se consideran para el diseño corresponden a los consignados en los manuales de diseño de pavimentos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), para la realización de los estudios de suelos, tránsito y la caracterización de la subrasante.

Para el diseño de la nueva estructura de pavimento no se modifica el diseño geométrico de la vía, ni las características del tránsito de la misma.

## **CAPITULO II**

### **2. TRÁFICO**

#### **2.1 ESTUDIO DE TRÁFICO**

##### **2.1.1 GENERALIDADES**

La ingeniería de tráfico surgió cuando los problemas creados por la concentración de vehículos rebasaron las medidas dictadas por la práctica elemental y aquellas aplicadas por la Entidad del Orden, las que estaban orientadas desde un principio hacia el campo de la ordenación y la seguridad vial.

Esta ingeniería, se inició a principios de los años 20 adelante y hasta la fecha su evolución ha sido rápida, ya que como muchas disciplinas técnicas, ha sido objeto de muchas críticas y muy serios estudios además de investigaciones conocidas a través de publicaciones especializadas, que son la respuesta a los problemas que se presentan en el tráfico vehicular, los que se van agravando a medida que la sociedad se va haciendo más urbana y desarrollada; de ahí que, en las soluciones que se estudien y vayan a adoptar deban ser contemplados aspectos socio-económicos, políticos y técnicos.

No es posible lograr o arribar a una visión, o lograr determinados objetivos si no existe la participación de los beneficiarios de los programas proyectos y acciones que se desarrolla, de tal manera no solo existe un constante control social sobre el trabajo municipal, sino también sobre los resultados que se buscan. En consecuencia existe la necesidad de re direccionar el trabajo municipal en función a los nuevos desafíos que representa el crecimiento de la ciudad y el área rural, la necesidad de continuar con el trabajo en aquellas áreas que se ha demostrado eficiencia en el uso de los recursos y eficacia por los resultados obtenidos como la potenciación de economía, producción y sobre todo el fortalecimiento del turismo.

Un proyecto como el que se propone, es una orientación de lo que se pretende lograr, no es letra muerta sobre lo que se desea y el como llegar a ese objetivo de desarrollo ordenado al que se pretende alcanzar, es un instrumento “vivo” que nos permite en el transcurso del tiempo y en base a lo avanzado, reorientar lo propuesto para lograr mayores y mejores resultados.

### **2.1.2 Definición y Competencia**

El número de vehículos que pasa por un punto dado durante un periodo especificado de tiempo, o el número de vehículos que arriban a un punto determinado es lo que se define como trafico vial, siendo así que las unidades comúnmente en los volúmenes de tránsito son "vehículos por día" o "vehículos por hora".

Para fines de proyecto de vialidad debe considerarse la economía que represente su diseño, para esto se tiene que adoptar el tráfico horario como base para determinar el volumen de diseño.

La ingeniería de tráfico se la define como *“La rama de la ingeniería civil que trata del planeamiento, trazado y funcionamiento de las calles y carreteras así como los aparcamientos terrenos colindantes y zonas de influencia y de su relación con otros medios de transporte. Su objetivo es que el movimiento de personas y mercancías, se realice de la forma más segura, eficaz y cómoda”*.

Esta definición recoge también todos los campos que competen a la ingeniería de tráfico, desde la solución de pequeños problemas locales, hasta la elaboración de complejos planes de transportes, la que ha sido aceptada universalmente.

La ingeniería de tráfico se divide en dos grandes grupos que generalmente están bien diferenciados, aunque tienen muchos aspectos comunes. Los mismos son:

### **2.1.3 Planeamiento de Tráfico**

Un factor básico en el planeamiento de las carreteras, calles y parqueos son los datos de tráfico que se deben recabar, con los cuales se clasifican las vías, se determinan tendencias de uso y las características geométricas en general.

Por esto, este grupo está muy relacionado con otras técnicas, como ser Estadística, Matemática, Urbanismo, Economía, etc.

Teniendo en cuenta, que la primera condición para abordar técnicamente un problema, en su conocimiento objetivo, la relación y análisis de datos resulta ser imprescindible, ya que no es posible actuar solamente sobre hipótesis, aunque parezcan evidentes. Por ello existe la necesidad inmediata de recabar información que sea lo más exacta posible, la misma que puede ser recogida por cualquier persona que tenga conocimiento básico de lo que se pretende y su éxito se basará en que utilice procedimientos bien calibrados y que tenga un costo mínimo, también estos datos deben ser debidamente sistematizados a objeto de que los resultados buscados sean de los más confiables con un mínimo porcentaje de error.

### **2.1.4 Ordenamiento de Circulación**

Este segundo grupo es el origen de esta nueva rama de la ingeniería y es donde el técnico se dedica al estudio de acciones inmediatas que posteriormente ha de hacer cumplir la Entidad responsable de esta (Policía), ya que en el trazado de calles, parqueos y carreteras especialmente en lo que se refiere a sus intersecciones y enlaces, la ingeniería de tráfico tiene un papel esencial; aunque muchos de los detalles de la técnica del trazado no son específicos en su campo.

En este acápite, se menciona como de mucha importancia la señalética que acompaña al proyecto con el objetivo de van guardar los interés de los peatones, infraestructura y tráfico vehicular.

### 2.1.5 Volumen de Tráfico

La determinación de los volúmenes de tráfico se hace por medio de contadores instalados en lugares o estaciones convenientemente elegidos.

Existen las de tipo automático, para conteos continuos que permiten obtener los volúmenes en un año o meses o semanas determinadas para calcular un promedio diario, y de tipo manual para conteos cortos destinados a efectuar medidas rápidas de tráfico.

Volumen de tráfico, es la cierta cantidad de vehículos a motor que transita por una calle, o camino, en determinado tiempo y en el mismo sentido, siendo las unidades comúnmente empleadas: vehículos / día o vehículos / hora.

El estudio de estos valores y otras variables, se los hace con la finalidad de realizar la prognosis del tráfico, tema fundamental para todos los trabajos que suponen algún grado de planeamiento.

El elemento de importancia para determinar la factibilidad de un proyecto vial, es predecir racionalmente el volumen de tráfico que ha de circular por la calle, carretera, parqueo y avenida diseñada durante cierto periodo de tiempo.

En el proyecto que se propone se considera un tráfico estimado con aforaciones hechas en el cruce *Puente de Tomatitas – La Victoria* en el mes de febrero 2013, distribuido en siete días durante 12 horas.

Se consideró el mes de febrero por ser el mes de mayor tráfico y doce horas involucrando las horas pico de cada día, como se demuestra más adelante y en proyección al área a la cual beneficiará; ya que no existe ningún otro tipo de información confiable. El cuadro correspondiente al presente proyecto de grado; nos indica el tráfico promedio diario de 234 vehículos / día.

Tomando en cuenta, que el parque de vehículos de un país o región es un buen indicador de sus actividades socio-económicas, el cuantificar de forma racional el volumen de tráfico es muy importante; de ahí la factibilidad de todo proyecto vial, y esté en directa relación con el tránsito promedio diario (TPD), que esta definido, como: promedio de volúmenes de tránsito que circulan durante 24 horas en un cierto periodo de tiempo, que normalmente es un año calendario. Este valor se determina aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{TPD} = V / N_a$$

**Donde**

**V = Total de vehículos registrados**

**N<sub>a</sub> = Número de veces que se ha aforado**

El resultado que se obtenga al reemplazar valores, deberá ser redondeado al valor entero más próximo.

## **2.1.6 METODOS PARA EL RECUENTO DEL VOLUMEN DE TRÁFICO**

### **2.1.6.1 Objeto de los aforos**

Uno de los primeros pasos en cualquier estudio de tráfico, es la evaluación de los movimientos que se producen, por lo que es preciso medir el número de vehículos que circulen por un determinado tramo y por determinado período de tiempo.

Los objetivos que normalmente se pretenden a través de los aforos, están encaminados a conocer dos aspectos importantes dentro de la demanda de tráfico: su intensidad y su composición.

De los datos obtenidos mediante aforos convenientemente elaborados para una calle o carretera, se puede obtener la intensidad diaria, intensidades medias horarias, la composición del tráfico, la distribución por sentidos, etc.

Mediante el conocimiento de estos valores ya se puede planificar y ejecutar soluciones que estén acordes a las necesidades actuales y futuras de la vía o espacio en estudio.

#### **2.1.6.2 Métodos de Aforo**

Los métodos que se conocen para realizar aforos en calles o carreteras, son los siguientes:

- Aforos manuales
- Aforos automáticos
- Aforos desde un vehículo
- Aforos mediante fotografías

##### **2.1.6.2.1 Aforos manuales (método elegido para el presente estudio)**

Los aforos manuales consisten en que un observador registre el paso de cada vehículo en una planilla especial que puede tener diferentes formatos.

Con este método de aforo, se puede suministrar una información más completa en periodos de tiempo cortos. Sin embargo, mantener permanentemente estos registros manuales resultaría demasiado costoso.

En caso de que las intensidades horarias sean elevadas y se requiera información simultanea de muchos movimientos y / o de los tipos de vehículos que esta transitando, se hacen necesarios varios observadores en el mismo lugar, pero habrá que considerar las experiencias que se tienen en otros países, que indican que si se superan los 2.000 vehículos / hora, es difícil realizar aforos manuales prolongados, aún con observadores muy bien entrenados; y que es aconsejable, si es preciso clasificar los vehículos, no pasar de 800 vehículos / hora por observador.

A veces se realizan aforos manuales en periodos de tiempo muy cortos inferiores a los 15 minutos en las horas consideradas como de máximo volumen, de forma que un solo observador puede recoger datos en la misma hora, de varios puntos o movimientos diferentes.

#### **2.1.6.2.2 Aforos automáticos**

Este tipo de aforos se realiza con contadores automáticos, que hasta hace pocos años atrás, eran exclusivamente de tipo neumático, consistente en un tubo de goma que va extendido sobre la calzada, para que cada vez que pase un vehículo, transmita un impulso a una membrana que cierra un circuito eléctrico.

Con este sistema de funcionamiento existen dos tipos de aparatos:

Los totalizadores, que simplemente van acumulando todos los impulsos que reciben y Los registradores, que dotados de un aparato de relojería, imprimen sobre una cinta, el número de vehículos que pasan cada hora.

Los registradores son de mayor uso, a pesar de que su costo es mucho mayor que el de los totalizadores.

En general, y salvo instalaciones complicadas, los aforos mecánicos no sirven para conocer la composición del tráfico, por lo que los planes de aforo han de complementarse con datos manuales, que son más precisos cuando están ubicados en instalaciones de peaje.

#### **2.1.6.2.3 Aforos desde un vehículo**

Es posible obtener información simultánea sobre intensidades de tráfico y velocidades medias, haciendo que un observador desde un vehículo que circule dentro de la corriente de tráfico, aproximadamente a la velocidad media, tome los datos siguientes:

- Vehículos que se cruzan con el vehículo piloto (C)
- Vehículos que se adelantan al vehículo piloto (A1)
- Vehículos que son adelantados por el vehículo piloto (A2)
- Tiempo en horas que dura el recorrido (T)

Con estos datos se puede determinar la intensidad horaria (i) dentro del tramo en estudio, mediante la aplicación de la fórmula:

$$I = (C + A1 - A2) / T$$

Este procedimiento será más exacto, si dos vehículos circulan en sentidos opuestos, para así poder determinar el valor medio; pero si se trata de tramos de longitud no muy grande, un solo vehículo puede hacer el recorrido de ida y vuelta. Para obtener con éste método una precisión aceptable, es conveniente realizar varios recorridos. Hay que indicar también, que este procedimiento no es aplicable en vías de más de dos carriles; además, se suele utilizar como complemento de otros estudios de tráfico o para obtener rápidamente alguna información de un tramo específico, pero no como un medio sistemático de realizar un plan de aforos.

#### **2.1.6.2.4 Aforos mediante fotografías**

Una serie de fotografías sucesivas puede servir para medir intensidades y velocidades de vehículos, además de densidades y grado de ocupación de las calzadas. Sin embargo, no es una forma habitual de realizar este tipo de estudios, por ser un procedimiento bastante caro y lento.

Para este proyecto el método utilizado es el de aforos manuales correspondiendo al mes de febrero del 2013.

### 2.1.6.3. Registro y Aforo de vehículos en la zona de influencia

<b>DIA</b>	<b>N° VEHICULOS REGISTRADOS</b>
<b>Lunes</b>	<b>38</b>
<b>Martes</b>	<b>41</b>
<b>Miércoles</b>	<b>49</b>
<b>Jueves</b>	<b>41</b>
<b>Viernes</b>	<b>33</b>
<b>Sábado</b>	<b>63</b>
<b>Domingo</b>	<b>70</b>

**Formula:**

$$\text{IMD} = (\text{vdl} + \text{vs} + \text{vd}) / 7 \times \text{Fc.}$$

**Donde:**

**VDL = Volumen promedio días laborables**

**VS = Volumen día Sábado**

**VD = Volumen día Domingo**

**Fc = Factor de Corrección (0.2) Abr/2014**

**Fc = 0.98426**

#### **2.1.6.4 Acción del tráfico**

Los vehículos parados o en movimiento se apoyan en la superficie del pavimento mediante los neumáticos de goma, un neumático en reposo tiene en contacto con el pavimento, un área aproximadamente elíptica con una presión de contacto que no es uniforme, ni exactamente igual a la presión de inflado interior del neumático ya que la rigidez de la goma y las lonas tiene influencia según la presión de inflado y la rigidez de la goma, el reparto de presiones ha de presentar distribuciones diversas en el área de contacto o en la distribución de la presión sobre el pavimento influye las características del neumático.

Si el neumático se pone en movimiento la huella cambia de forma disminuyendo la dimensión mayor, según aumenta la velocidad. En la actualidad los neumáticos múltiples - radiales son capaces de deformarse ante las sollicitaciones sin presentar zonas altas de tensiones tan acusadas. Estas consideraciones son muy importantes de tomar en cuenta a la hora de determinar resultados o productos finales que aporten al diseño de un proyecto determinado de la más técnica y científicamente posible.

Al presente capítulo lo consideramos de mucha importancia no solo por los propósitos técnicos que la misma conlleva, sino se constituye en un indicador muy importante para determinar el flujo vehicular en tránsito desde la ciudad capital hacia la zona de influencia del proyecto, consiguientemente también el tráfico de personas que con diferentes motivos y razones visitan la comunidad de La Victoria. Resumiendo, estamos en condiciones de afirmar que el tráfico a y de La Victoria es superabundantemente alto aportando de sobremanera a la viabilidad de la presente propuesta o estudio.

## CAPITULO III

### 3. SUELOS

#### 3.1 ESTUDIO DE SUELOS

##### 3.1.1 CLASIFICACION DE SUELOS

El presente trabajo ha sido elaborado con la finalidad de desarrollar los aspectos más resaltantes del tema relacionado con **los suelos**, los cuales abarcan la cubierta superficial de la mayoría de la superficie continental de la Tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica.

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas. Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales.

Los suelos son conjuntos de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica y de la descomposición química de rocas pre-existentes.

Los suelos pueden ser residuales o transportados, según se los encuentre en el mismo lugar en el que se han generado o en lugar diferente. El transporte por aire o agua y la sedimentación de esos dos medios constituyen el mecanismo usual que da lugar a un suelo transportado.

La clasificación de suelos en el presente proyecto, ha sido efectuada mediante la colaboración del laboratorio de suelos de la Alcaldía Municipal de Cercado, se tomaron 4 muestras en diferentes lugares tanto de las calles adyacentes como del parqueo vehicular

ubicado en la misma plaza, por tratarse de una configuración muy similar de los materiales, además la clasificación de los mismos esta de acuerdo con las normas A.A.S.T.H.O.

### 3.1.2 Características de los suelos

Desde el punto de vista de la ingeniería, **suelo** es el sustrato físico sobre el que se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Desde el punto de vista de la ingeniería, se diferencia del término **roca** al considerarse específicamente bajo este término un sustrato formado por elementos que pueden ser separados sin un aporte significativamente alto de energía. Se considera el suelo como un sistema multifase formado por:

- Sólidos, que constituyen el esqueleto de la composición del suelo
- Fase líquida (generalmente agua)
- Fase gaseosa (generalmente aire) que ocupan los intersticios entre los sólidos.

Pueden distinguirse tres grupos de parámetros que permiten definir el comportamiento del suelo ante la obra que en él incide:

- Los parámetros de identificación
- Los parámetros de estado
- Los parámetros estrictamente geo mecánicos.

Entre los parámetros de identificación son los más significativos la granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado en función del contenido en agua). El tamaño de las partículas va desde los tamaños granulares conocidos como gravas y arenas, hasta los finos como la arcilla y el limo. Las variaciones en la consistencia del suelo en función del contenido en agua diferencian también las mencionadas clases granulométricas principales.

Los parámetros de estado fundamentales son la humedad (contenido en agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes.

En función de la variación de los parámetros de identificación y de los parámetros de estado varía el comportamiento geo mecánico del suelo, definiéndose un segundo orden de parámetros tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o la permeabilidad.

La composición química y/o mineralógica de la fase sólida también influye en el comportamiento del suelo, si bien dicha influencia se manifiesta esencialmente en suelos de grano muy fino (arcillas). De la composición depende la capacidad de retención del agua y la estabilidad del volumen, presentando los mayores problemas los minerales arcillosos. Éstos son filosilicatos hidrófilos capaces de retener grandes cantidades de agua por adsorción, lo que provoca su expansión, desestabilizando las obras si no se realiza una cimentación apropiada. También son problemáticos los sustratos colapsables y los suelos solubles.

Los suelos naturales en la zona, son bastante malos, por la excesiva humedad y vegetación existente en la zona y por tratarse de predominación de tierra vegetal. Dichos suelos están compuestos por limos y arcillas, que en la clasificación AASHTO están identificados como A-4 y A-6.

En nuestro caso los resultados obtenidos se clasifican en A-6 (10)

Considerando la calidad de los suelos, se utilizará para el diseño del presente proyecto la subrasante natural, la misma que de acuerdo a ensayos existentes tiene un C.B.R. igual a:

**3,30 % a D. máx. de 95 %**

**4,00 % a D. máx. de 100 %**

Debido a la calidad de la subrasante, debemos mejorar el valor del K de diseño, mediante la colocación de un material de buena calidad. Para lo cual, usaremos material extraído del

banco existente en el río del mismo nombre (La Victoria), la misma que arroja un C.B.R. del 37.00 %.

Todos los ensayos correspondientes a los materiales a usar en la obra, se encuentran en este proyecto, por lo que los valores anteriores están totalmente respaldados.

Mediante la figura (3,1), obtenemos los módulos de reacción, los mismos que tienen los siguientes valores:

Para la subrasante:

$$\text{C.B.R.} = 4 \% \quad \text{TM} \quad K_0 = 2.80 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{C.B.R.} = 37 \% \quad \text{TM} \quad K_1 = 11.0 \text{ kg/cm}^3$$

### 3.1.3 SUELOS DE LA ZONA INVOLUCRADA

#### 3.1.3.1 Principales características

Geológicamente corresponde al paleozoico inferior, correspondiendo geológicamente al Ordovícico, Silúrico y Devónico (Areniscas, Conglomerados, Limolitas y Lulitas), que constituyen una secuencia alternante, arenofelítica, marina muy fosilífera. **Relieve de mesetas altas** onduladas y valles aluviales y coluvio-aluviales del cuaternario.

Los Suelos presentan las siguientes características:

**Zona Andina.** (Zona a la que pertenece el Cantón del Rincón de la Victoria) Donde los suelos son en su generalidad poco desarrollados, superficiales con frecuentes afloramientos rocosos, con fuertes procesos de degradación por erosión hídrica laminar.

En general la textura de los suelos es de tipo franco, existiendo una predominancia del franco-arenoso. El ph. tiene una reacción ácida variando desde 4.37 a 7.03.

El contenido de materia orgánica oscila entre muy bajo y moderado.

El contenido de nitrógeno total varía entre 0.04 % y 0.27%, ubicando a estos suelos por su contenido de nitrógeno, entre muy bajo y moderado.

El contenido de fósforo asimilable está entre muy bajo y bajo, con valores que oscilan entre 2 ppm y 8.3 ppm.

El potasio intercambiable se sitúa en valores que oscilan desde 0.05 hasta 0.57, clasificándose por lo tanto, entre muy bajo a moderado.

La capacidad de intercambio de cationes es baja con valores que oscilan entre 5 me/100 gr. y 12.75 me/100 gr.

**Zona de los Valles.** (A la que pertenece la comunidad involucrada de La Victoria) Por su geomorfología, los suelos son moderadamente desarrollados, poco profundos a profundos, con leves a fuertes limitaciones por erosión originados a partir de sedimentos Fluvio Lacustres, Aluviales y Coluviales. Según la clasificación realizada por el MACA, la clasificación de tierras por su aptitud, se divide en cuatro series: Canasmoro, Sella, Trancas y San Lorenzo (Municipio donde pertenece la Comunidad Beneficiaria)

#### **Serie Canasmoro**

Los suelos de esta serie, están ubicados en las proximidades de la población de Canasmoro. Fisiográficamente se encuentra sobre aluviones recientes y terrazas aluviales, derivados de lutitas, areniscas y cuarsitas, con relieve topográfico plano o casi plano. Son suelos profundos moderadamente bien drenados, no presentan problemas de erosión significativa.

Presentan un nivel de fertilidad medio, donde los contenidos de materia orgánica y nitrógeno son medios, de fósforo medios a altos y de potasio bajos a medios.

El ph es neutro a ligeramente alcalino y no presenta problemas de salinidad.

### **Serie Carachimayo**

Los suelos de esta serie fisiográficamente se encuentran sobre una terraza antigua plana a suavemente inclinada, de formación fluvio lacustre, derivado de arenisca, lutitas y cuarcita.

Presenta un nivel de fertilidad medio, donde los contenidos de materia orgánica y nitrógeno son medios, de fósforo medios a altos y de potasio bajos a medios. El ph es neutro a ligeramente alcalino y no presenta problemas de salinidad.

### **Serie Trancas**

Esta serie se encuentra en áreas severamente erosionadas. Fisiográficamente se sitúan sobre terrazas disectadas, con relieve topográfico moderadamente escarpado, de formación lacustre derivado de areniscas y lutitas arenosas.

Son suelos profundos o moderadamente profundos, bien drenados a excesivamente drenados, presentan erosión hídrica y eólica de severa a muy severa.

### **Serie San Lorenzo (Municipio a la que pertenece la comunidad involucrada por el Proyecto)**

Los suelos de esta serie están ubicados en las proximidades de la localidad de San Lorenzo. Fisiográficamente se sitúan sobre aluviones recientes, con relieve topográfico plano o casi plano.

Son suelos imperfectamente drenados, no presentan problemas de erosión significativa. Tienen un nivel de fertilidad medio, donde los contenidos de materia orgánica y nitrógeno son medios, de fósforo medios a altos y de potasio bajos a medios. El ph es neutro a ligeramente alcalino y no presenta problemas de salinidad.

### **Serie Sella**

Los suelos de esta serie están ubicados en las localidades de Sella Méndez y Erquis. Fisiográficamente se encuentran sobre aluviones recientes, con un relieve topográfico plano a casi plano, de formación fluvio lacustre derivada de areniscas arcillosas.

Son suelos profundos, moderadamente bien drenados, no presentan problemas de erosión significativa. Tienen un nivel de fertilidad medio, donde los contenidos de materia orgánica son medios, los de nitrógeno y fósforo bajo a medios y los de potasio altos. El ph es ligeramente alcalino y la conductividad eléctrica muy baja.

Finalmente estas comparaciones que se vierten entre zonas del municipio y la zona donde se emplazara el proyecto, son también indicadores de viabilidad que en una oportunidad más se demuestra esta viabilidad, sin dejar de mencionar que los suelos son aptos para mejorar las condiciones de vida de los pobladores con la ampliación de la frontera agrícola y el emplazamiento de estructuras civiles que aporten al desarrollo económico de la zona, también no está demás mencionar que sus suelos son buenos para el aspecto agrícola y urbanístico, son garantía para el tema de sistemas de drenaje y la cosecha de agua, no presenta problemas de erosión significativa que igualmente son garantía para habilitar terrenos para cultivos. Tienen un nivel de fertilidad medio que garantiza la producción agrícola donde los contenidos de materia orgánica y nitrógeno son medios, de fósforo medios a altos y de potasio bajos a medios. El ph es neutro a ligeramente alcalino y no presenta problemas de salinidad.

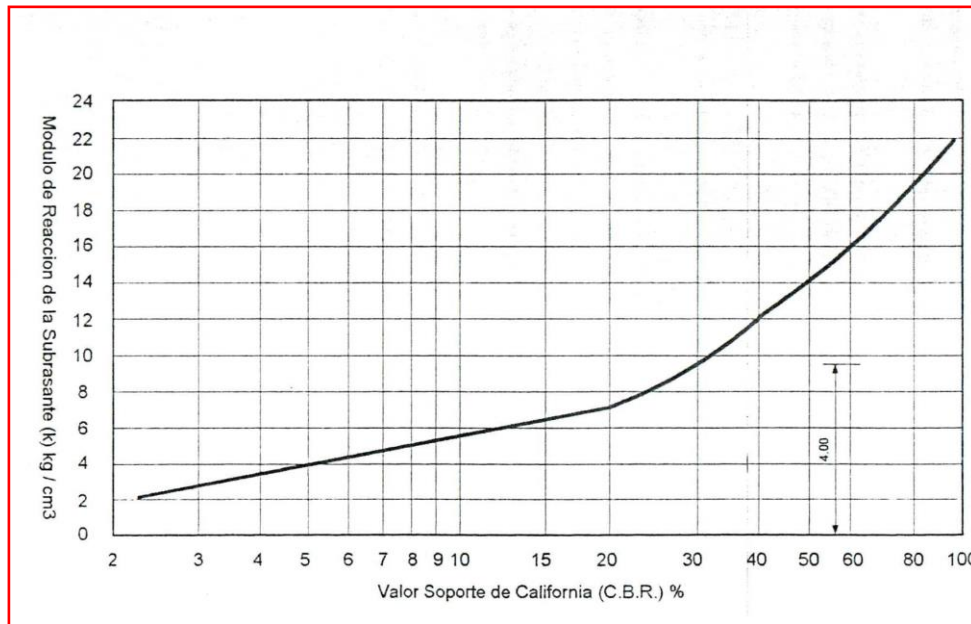
#### **3.1.4 RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) – Modulo K C.B.R.**

El California Bearing Ratio, llamado C.B.R., el mismo que se expresa como un porcentaje del esfuerzo para hacer penetrar un pistón en el suelo que se ensaya, dividiendo por el esfuerzo solicitado para penetrar el mismo pistón, hasta la misma profundidad en una muestra patrón de piedra triturada.

En este proyecto de grado se presenta los resultados de los ensayos de las muestras obtenidas y procesadas en el laboratorio de suelos de la Alcaldía municipal de cercado y como resultados tenemos lo siguiente: (Ver resultados adjuntos).

En resumen; ratificamos que los resultados obtenidos de los suelos de las cuatro muestras tomadas de la subrasante natural del área destinada al emplazamiento del Proyecto en la Comunidad de *La Victoria*, ensayadas en el laboratorio de la Alcaldía de la ciudad de

Tarija nos determinan suelos de clasificación A-6 (10) que corresponden a suelos arcillosos de mediana plasticidad con C.B.R. encontrados para los mismos llegan a resultados de 3,3 % y 4 % valores que consideramos para el diseño de los espesores de la estructura; muy pobres (bajos).



## CAPITULO IV

### 4. DISEÑO GEOMÉTRICO

#### 4.1 GENERALIDADES

En el diseño geométrico del área de la plaza y sus calles de acceso en la Comunidad de La Victoria, se considera los mismos procedimientos constructivos y principios básicos de construcción y control aplicables a los caminos, sin embargo, hay algunos detalles que requieren un comentario especial.

El presente diseño del proyecto prevé los siguientes aspectos técnicos y de diseño a considerar como:

- Ancho de calzada
- Perfil transversal de la calzada
- Cordones integrales
- Conductos

##### 4.1.1 ANCHO DE LA CALZADA

Es la luz libre para la circulación, es la distancia entre los bordes interiores de los cordones laterales, y varía con el volumen de tránsito en circulación previsto.

Para el proyecto en cuestión se tiene los siguientes datos:

Ancho de calzada = **12 m.**

Área total calles de acceso más calzada plaza = **19535,73 m<sup>2</sup>.**

Longitud de calles de acceso = **810.00 m.**

##### 4.1.2 PERFIL TRANSVERSAL

El perfil superior de la sección transversal es convexo, se denomina bombeo y se mide por su flecha.

En las calzadas de ancho comunes, con cordones laterales ese perfil superior es una curva representada generalmente, por una parábola cuadrática.

En este caso, para encauzar las aguas pluviales y otras, es conveniente que la elevación la curva con respecto a la cuneta y a una distancia de 1.00 m. de está, sea de uno 0,05 m (pendiente de 5%).

De acuerdo con estas condiciones el “bombeo” representado por la flecha, “f” está dado por la siguiente fórmula:

$$f = \frac{c * a^2}{2^a - 1}$$

Siendo “a” el semiancho de la calzada para el valor  $c=0,05$  m.

Los siguientes valores que se expresan en la tabla siguiente están mencionados en metros:

Ancho de calzada (m.)	Flecha “f”
6	0,09
7	0,10
8	0,11
9	0,13
10	0,14
11	0,15
12	0,16
13	0,18
14	0,19
15	0,20
16	0,21

Para calles con pendientes longitudinales mayores de 10,3 % cuando se disponen sumideros cercanos, pueden disminuirse las pendientes en la cuneta y las flechas consignadas.

El cálculo de ordenadas “y” del perfil superior puede efectuarse con la siguiente fórmula:

$$y = \left( 1 - \frac{x^2}{a^2} \right)$$

Para anchos superiores a los 16 m. en lugar del perfil parabólico, conviene adoptar otros compuesto de dos pendientes transversales de alrededor del 1,5 % que se quiebran en el eje de la calzada y a un metro de la cara interna de los cordones, este último para dar lugar a la formulación de cunetas con 5 % de pendiente necesario para encauzar y facilitar el escurrimiento de las aguas pluviales y otras. Todos estos quiebres de pendiente transversales deben identificarse con curvas que los suavicen con el propósito entre otras cosas evitar el desgaste del suelo como tal por la fricción ejercida por mayores pendientes.

#### **4.1.3 CORDONES INTEGRALES**

Con la construcción de cordones integrales se resuelve en forma parcial y económica, el problema de limitar el área pavimentada proveyéndole un drenaje superficial adecuado.

El cordón integral se construye en una sola operación con el pavimento utilizado el hormigón que se elabora en obra. El cordón se va formando, a medida que se coloca el hormigón del pavimento.

El cordón integral ofrece ventajas sobre el cordón o el cordón-cuneta separados. El cordón integral provee un espesamiento del borde del pavimento que disminuye sus deflexiones y tensiones y mejora su capacidad estructural. Siempre es posible construir la sección transversal deseada con cordones integrales y como consecuencia de las ventajas técnico – económicas que presentan.

#### **4.1.4 CONDUCTOS**

Es una práctica recomendable, en la actualidad, ubicar los conductores subterráneos de servicios públicos y otros, entre líneas de edificación y fuera de la zona pavimentada. Esta práctica facilita el mantenimiento y la colocación de nuevos conductores que se prevean en nuevos planes, evitando la rotura del pavimento.

#### **4.2 CAPACIDAD DE LA AVENIDA**

La capacidad de un proyecto vial es el máximo número de vehículos que puedan pasar, en una unidad de tiempo (hora) por un determinado punto en un sentido u otro, o en ambos sentidos a la vez, en los caminos de dos o tres carriles bajo las condiciones prevalecientes de tránsito.

En este estudio de capacidad de calles y accesos, el propósito que generalmente se persigue es el de determinar, la calidad de servicio que presenta cierto tramo o componente de la arteria, de ahí también será muy importante determinar el número de vías que tendrá el camino, calle o acceso a proyectarse, por lo cual se debe considerar la capacidad de diseño.

##### **4.2.1 CAPACIDAD DE DISEÑO**

En el estudio para el análisis del cálculo de la cantidad de vehículo / día, se considera:

Primero

El estudio de tráfico existente en la zona y que circunda las calles de ingreso a la plaza principal de la Comunidad de La Victoria y que nuevamente desembocan en la avenida principal de la Comunidad la misma que de igual manera converge en la carretera departamental (cruce de Tomatitas) son 234 vehículos/día dato obtenido como resultado del cálculo a través de los aforos realizados

La selección del tipo de calzada la realizamos basándonos en la funcionalidad de una avenida dentro del área urbana, zona turística, Comunidad enteramente productora agrícola y este último tiempo potencialmente productora de Pan casero a niveles industriales organizados en micro empresas.

Segundo

Con el área que es beneficiada con el proyecto en estudio, se consiguió un crecimiento poblacional para 20 años, para lo que se contribuye al volumen de tráfico de 234 vehículos / día como resultado de los datos utilizados y calculados que se encuentran en el capítulo 2 en estudio de tráfico

#### 4.2.2. VELOCIDAD DIRECTRIZ

La velocidad directriz o velocidad de proyecto es de suma importancia y podemos definirla como aquella velocidad que ha sido escogida para gobernar y correlacionar las características geométricas del proyecto de un camino en su aspecto operacional.

Todos los elementos del proyecto se calculan sobre la base de la velocidad del proyecto, estas velocidades también son reconocidas por las Normas AASTHO, y las normas Bolivianas para el diseño de carreteras del año 1990, que muestra en el cuadro siguiente.

TIPO DE TOPOGRAFIA	VELOCIDAD DIRECTRIZ
Plana	de 90 a 130
Ondulada	de 50 a 110
Montañosa	de 30 a 80
Área Urbana	de 10 a 60

CUADRO N° (4,2)

El cuadro (4,2), nos permite adoptar la *velocidad directriz*, en este caso consideramos el proyecto dentro del área urbana por lo que la velocidad directriz o de proyecto se asume **15 km/hora**, además, por tratarse de un área donde circulan bicicletas, motocicletas y gran cantidad de peatones. Otro parámetro importante en la definición de la velocidad viene constituido por las pendientes.

De acuerdo a las características del tipo de vía y como consecuencia del trazado, son variables las pendientes adoptadas que, suelen estar en concordancia también con las normas que existen para el efecto.

Existe una relación entre la pendiente y la velocidad máxima admisible en una vía o tramo determinado de ella. Esta influencia de la pendiente y la velocidad, se mide por la distancia de frenado admitida, es decir: la velocidad máxima que franquea el vehículo circulando en pendiente, desde el principio del frenado hasta su total parado, en una distancia determinada de frenado.

#### **4.2.3 RADIO DE CURVATURA**

Si bien los radios de curvatura, se aplican al diseño de carreteras, no podemos dejar de nombrar y considerar porque el centro urbano de la comunidad está totalmente urbanizado y que en alguna medida cabe considerar estos datos técnicos conjunsiando con los requerimientos técnicos urbanísticos y de diseño, en consecuencia y a manera de no dejar suelto este importante componente de la ingeniería vial, la misma se la considera de la siguiente manera:

El radio de curvatura es una característica principal de la explotación de la vía, de un proyecto y es una la curva horizontal que se propone de la misma que se hará un estudio técnico que le permita encontrar la solución adecuada en función a las normas que rige la materia.

Para realizar un trazo óptimo es necesario conocer las especificaciones que regirán el diseño geométrico, así como encontrar una armonía entre las normas para el alineamiento horizontal y vertical. Estas últimas se verán afectadas por factores como el derecho de vía, la división de propiedades, el efecto de la vía proyectada por factores sobre otras existencias, los cruces con otras carreteras o avenidas y las previsiones para lograr un buen drenaje entre otros ya que cabe la posibilidad de que se tenga que forzar el trazo de la viabilidad

Desde el punto vista constructivo se puede emplear radios de curvatura grandes y pequeños.

Ventaja principal de los radios pequeños es que permite plegarse al terreno, como consecuencia resulta un menor movimiento de tierras, y un menor presupuesto.

Las ventajas que ofrecen los radios grandes son:

- Mayor capacidad de tráfico.
- Mayor velocidad de circulación de los vehículos.

El cuadro (4,3), que a continuación veremos nos permitirá encontrar el radio de curvatura del proyecto en la curva proyectada.

Velocidad máxima que permite la curva más cerrada

<b>VELOCIDAD MAXIMA (Km / h)</b>	<b>RADIO DE CURVATURA (m)</b>
37	20
46	40
51	60
54	80
57	100
62	150
66	200
71	300
74	400
77	500

CUADRO N° (4,3) Valores basados en datos de campo tomados en carreteras bolivianas.

Como se trata de terreno plano y por las características que presenta el parqueo vehicular habiendo asumido la velocidad directriz de 15 km / h tiene un radio de curvatura de 14 m. que es lo mínimo considerado (asumido por tratarse de un lugar donde no se imprime mucha velocidad).

Para el diseño del presente utilizamos los siguientes datos:

**Ancho de plataforma = 12 m.**  
**Radio de curvatura = 14 m.**  
**Velocidad directriz = 15 Km / h**  
**Bombeo = 1.5 a 3 %**

#### 4.2.4 TRAZADO Y CALCULO DE CURVA HORIZONTAL

En el presente proyecto por las condiciones de la topografía, las curvas son calculadas como curvas horizontales simples.

##### CURVA 1

###### Datos:

Progresiva de PI = (O+129,00)

$A = 92^{\circ} 27' 45''$

$R = 14,00 \text{ m.}$

$V = 15,00 \text{ Km / Hr.}$

###### Cálculo:

Longitud de la Tangente o puntos tangenciales

$A/2 = 46^{\circ} 13' 52,5''$

$T = R * \text{Tg } A/2$

$T = 14,00 * \text{Tg } 46^{\circ} 13' 52,5''$

$T = 14,62 \text{ m.}$

Esta distancia se mide a partir del punto de intersección de las tangentes (PI) en dirección a los extremos localizados con los puntos de tangencia PC principio de curva, y PT principio de tangencia a la curva.

#### Externa

$$E_x = R * (\sec. A / 2 - 1) = 20.00 * (\sec 46^{\circ}13'52,5'' - 1)$$

$$E_x = 6,24 \text{ m.}$$

#### Flecha

$$f = R * (1 - \cos A / 2) = 20.00 * (1 - \cos 46^{\circ}13'52,5'')$$

$$f = 4,32 \text{ m.}$$

#### Desarrollo de la Curva

$$LC = \frac{3.14159 * R * A}{180}$$

$$LC = \frac{3.141519 * 14.00 * 92^{\circ}27'52,5''}{180^{\circ}}$$

$$LC = 22,59 \text{ m.}$$

$$CC = 11,30 \text{ m.} \quad \text{Progresiva CC} = 126,43 \text{ m.}$$

#### Progresivas

$$\text{Progresiva PC} = 0 + 129,75 - 14,62 = 0 + 115,13 \text{ m.}$$

$$\text{Progresiva CC} = 0 + 126,43 \text{ m.}$$

$$\text{Progresiva FC} = 0 + 115,13 + 22,59 = 0 + 137,72 \text{ m.}$$

## 4.2.5 REGISTRO DEL REPLANTEO DE LA CURVA

PROGRESIVA m.	ESTACION	ADELANTE	DISTANCIA PARCIAL	DISTANCIA ACUMULADA DE LA CURVA
<b>0+115,15</b>	0+120	PC	4,87	-
<b>0+121,00</b>	PC	1	5,87	5,87
<b>0+126,46</b>	-	2	5,43	11,30
<b>0+133,50</b>	-	3	7,07	18,37
<b>0+137,72</b>	-	FC	4,22	22,59

CUADRO N° (4,4)

### 4.2.5.1 Peraltes

Fuerza centrífuga

Cuando un vehículo circula por una curva, es desviado radialmente hacia fuera por la fuerza centrífuga, que es la fuerza dirección al exterior.

Esta fuerza es equivalente al producto de la masa por la aceleración hacia el centro de curvatura, esto es:

$$f_c = \frac{P * V^2}{g * R}$$

**Donde:**

**fc** = Fuerza Centrífuga en Kg.

**P** = Peso del vehiculo en Kg.

**V** = Velocidad de circulación en la curva m/ seg.

**R** = Radio de curva circular en metros

**G** = Aceleración de la gravedad en 9.81 m/seg<sup>2</sup>

En los pavimentos de carreteras en curvas esta fuerza centrífuga, tiende a causar el vuelco o el deslizamiento hacia afuera desde el centro de la curva.

Para resistir estas fuerzas centrífugas (que se suponen horizontalmente) es costumbre incluir la superficie de la carretera hacia adentro, de modo que se produce ligero efecto de peralte, con el que se ejercen automáticamente fuerza de gravedad neutralizadoras.

Por lo tanto, el efecto se produce tanto más mayor sea la velocidad, este efecto se lo describe en la práctica siguiente. Fig (4,1)

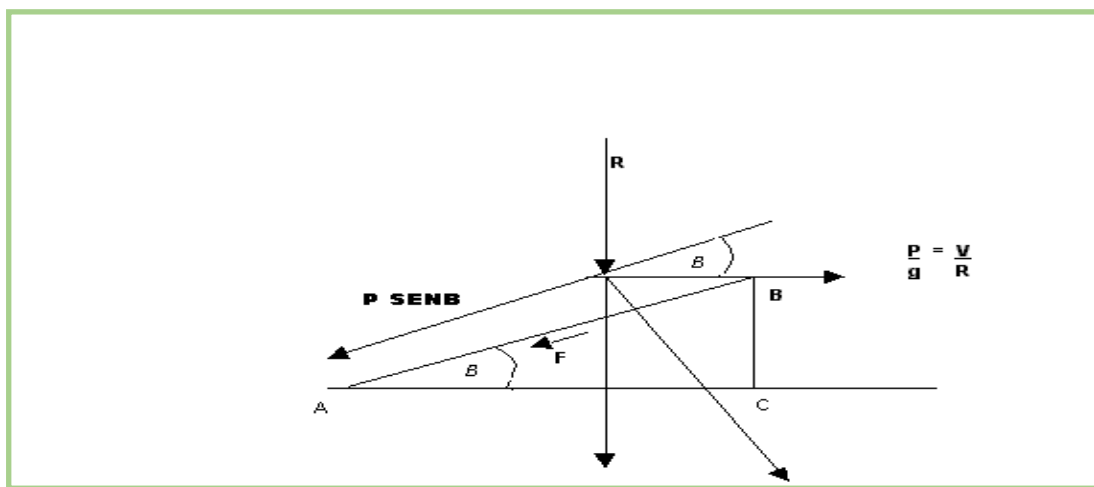


Figura (4,1)

De donde ésta gráfica se deduce:

Sea:

$B =$  Angulo que forma la superficie inclinada con la horizontal

$B = \text{Tg } B$  Pendiente del peralte

Observando las fuerzas que actual están en equilibrio y considerando los componentes rectangulares paralelos a AB tenemos:

$$P * \text{Sen} \beta + F = \frac{P * V^2 * \text{Cos} \beta}{g * R}$$

Donde F es la fuerza de rozamiento variable y ajustable que tiene un valor máximo  $fP$ , siendo f el factor de rozamiento admisible.

Reemplazando:  $F = fn$  y dividiendo por  $\cos u$ ; ( $B=u$ ).

$$Tg\mu + f = \frac{V^2}{g} * R \quad \text{ó} \quad Tg\mu = \frac{V^2}{g} * R - f$$

Sustituyendo V (m/seg) por V en Km/hora y haciendo:

$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$  la ecuación anterior se transforma:

$$e = \frac{V^2}{12714 * R} - f \quad \text{(Pendiente transversal)}$$

Con esta fórmula de pendiente transversal se calcula el peralte para cada una de las curvas, tomando en cuenta los siguientes valores para el coeficiente de fricción lateral.

<b>VELOCIDAD DIRECTRIZ</b>	<b>30 Km.</b>	<b>60 Km.</b>	<b>70 Km.</b>
<b>COEF. DE FRICCION LATERAL</b>	0,18	0,17	0,15

#### 4.2.6 Aplicación práctica de la formula en la curva 1 (Curva horizontal del Proyecto)

##### APLICACIÓN PRACTICA DE LA FOMULA EN LA CURVA 1 CURVA HORIZONTAL DEL PROYECTO

$$R=14,00 \text{ m} \qquad e = \frac{V^2}{12714 * R} - f$$

Dónde:  $V = 15.00 \text{ Km/hora}$   $f = 0.18$

Reemplazando valores tenemos:

$$e = \frac{15^2}{127414 * 14} - 0.18$$

$$e = -0,178 \% \quad \rightarrow \quad F_R < F_c$$

En este caso cuando el valor de “e” es negativo, nos indica que no necesita peralte ya que la fuerza de rozamiento es menor a la fuerza centrífuga.

## CAPITULO V

### 5. CLASES DE PAVIMENTO A COMPARAR EN EL PROYECTO

#### 5.1 PAVIMENTO ARTICULADO

Es importante a través de la historia mencionar cuales fueron los pavimentos que más excelente comportamiento tuvieron en el rendimiento buscado en las calzadas, es así que menciona que se utilizaron los pavimentos con adoquines y se inicia prácticamente con nuestra civilización. Cuando se construyeron la Vías Romanas se emplearon bloques de piedra trabajados especialmente para obtener una superficie lisa.



Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme elaborados entre sí. Esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual a su vez, se apoya sobre una capa de base granular, o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de las magnitudes y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento

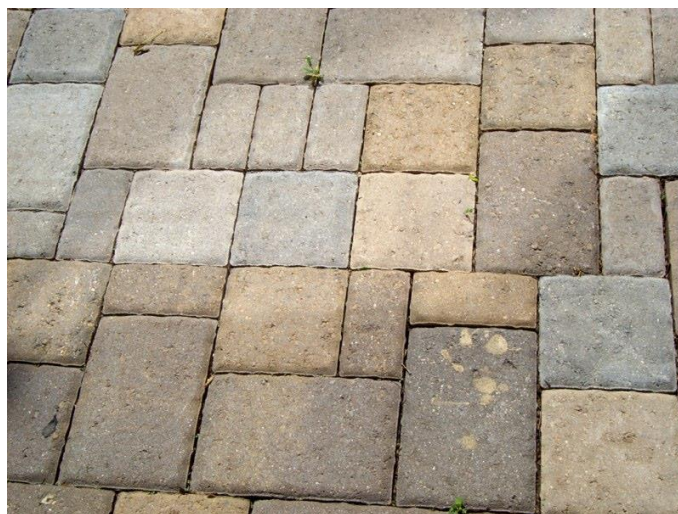
### 5.1.1 Construcción

La subrasante deberá tener una composición homogénea, libre de materia orgánica y se compactará lo necesario para proporcionar un soporte uniforme al pavimento. A la subrasante se le darán las características geométricas especificadas para la superficie de adoquines.

### 5.1.2 Diseño de un pavimento articulado



Estas piezas de pavimento prefabricadas, deben cumplir con varios requisitos geométricos y resistencia, como: muestreo, forma, dimensiones, color, textura y resistencia a varios esfuerzos.



### **5.1.3 Base**

Se podrán utilizar bases de material granular, suelos estabilizados o concreto pobre. La base de material granular deberá cumplir con los requisitos establecidos en estas normas. Los otros tipos de base acatarán los requisitos especificados por el diseñador de cada proyecto específico

### **5.1.4 Capa asiento de arena**

La arena que se utilice para conformar la capa sobre la que se colocarán los adoquines, estará libre de materia orgánica, mica, contaminantes y tendrá una granulometría continua tal que la totalidad de la arena debe pasar por el tamiz ICONTEC 9.50 mm. (3/8")

La capa de arena es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia, que se coloca directamente sobre la base sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos. En nuestro proyecto se extenderá una capa de arena silíceo gruesa de 2 cm. de espesor uniforme en toda la extensión de la superficie destinada al pavimento de la calzada y posibles zonas de parqueo propiamente dicho.

Tanto los adoquines, como la capa base, tienen pequeñas irregularidades. Además, para compactar la capa adoquinada, se requiere una capa no rígida que la sostenga. Para estos dos motivos, un pavimento de adoquín, incluye una capa de asiento que está debajo de los adoquines y sobre la base de pavimento.

Conviene que esta capa sea de arena de río limpia, sin nada de arcilla ni cemento o cal. Su espesor debe ser un tercio del espesor del adoquín.

Si la superficie de la base es muy irregular, quizá sea necesario hacer la capa de asiento de 5 cm. No conviene hacerla de mayor espesor porque esto puede causar asentamiento en el adoquín, por la consolidación de la arena, a menos que esté bien compactada

Los pavimentos de adoquín han regresado triunfalmente. Ahora, con avanzada tecnología del concreto, las nuevas piezas que forman ese pavimento, tienen alta resistencia, formas y colores agradables, que permiten hacer el más hermoso pavimento de estos tiempos.

Históricamente, los adoquines de concreto descienden de las piezas de pavimentos usados por las primeras civilizaciones humanas. A partir del Imperio Romano, es cuando con técnica realmente moderna se aumentan carreteras y calles, usando capas de suelo mejorado con cubiertas con lajas o piedras planas, a manera de burdo adoquín o loseta de pavimento.

En el siglo pasado, en Europa se empezó a utilizar un adoquín de roca, cortado toscamente, en forma de colmillo con una superficie con desgaste de 12 x 12 cm aproximadamente.

A principios de este siglo con la aparición del automóvil, se desarrolla una tecnología para el concreto y las mezclas asfálticas, que en el tiempo de los pavimentos desplazo al adoquín de construcción artesanal.

Sin embargo resurgió el pavimento de adoquín, con sus fábricas de concreto. Las enormes ventajas que ofrece este pavimento han hecho que su uso tenga un incremento explosivo, construyéndose hoy millones de metros cuadrados de pavimentos de adoquín casi en todas las ciudades.

En especial estos pavimentos son adecuados para remodelar zonas y unidades de valor histórico, arquitectónico y turístico.

Los pavimentos de adoquín tienen las siguientes ventajas:

- Altamente estéticos
- Fáciles para su montaje
- Fáciles para su mantenimiento
- Ampliamente térmicos
- Su puesta en funcionamiento es inmediato
- Mantenimiento ocasional
- De costo igual a otros pavimentos
- Versatilidad en su manipuleo y uso

- Su construcción sólo requiere equipo sencillo y personal no especializado

### **5.1.5. ADOQUINES DE CONCRETO**

Son elementos macizos, de concreto, prefabricados de espesor uniforme e iguales entre sí de forma de prisma rectos, ondulados, etc., al colocarlos sobre una superficie encajen unos con otros dejando solamente juntas entre ellos. Además cuentan con una resistencia que les permite soportar las cargas y en especial al desgaste ocasionado por el tráfico.

#### **5.1.5.1 SELLO DE ARENA**

Material de arena fina que se sitúa en las juntas a tiempo de colocar los adoquines, este material se constituye como sello entre adoquines que además permite la sujeción entre ellos.

#### **5.1.5.2 CONFINAMIENTO**

Su función consiste en evitar que los adoquines se desplacen por el empuje horizontal que ejerce el tráfico. Como estructura de confinamiento se pueden emplear bordillos, andenes, muros o la estructura de otro pavimento.

#### **5.1.5.3 DRENAJE**

Como drenaje se entiende todo aquello que contribuya a la recolección conducción y evacuación de aguas. Al drenaje superficial corresponden las pendientes, tanto longitudinales como transversales, cunetas, sumideros etc.; al subterráneo las redes de desagüe, filtros, etc.

#### **5.1.5.4 CLASIFICACION**

Los pavimentos de adoquines se clasifican o dividen en tres categorías según el tipo de tráfico que vaya a soportar con el fin de utilizar los métodos más adecuados, tanto para el diseño de espesores como para la construcción de los mismos:

- Para tráfico peatonal.
- Para tráfico vehicular común.
- Para tráfico de vehículos especiales o para carga puntualmente altas.

Para el diseño del pavimento se tratará dos aspectos fundamentales:

El diseño geométrico de la vía, que determina los niveles y perfiles, los sistemas y las estructuras de drenaje, el confinamiento, el patrón de colocación y los demás detalles constructivos.

El diseño de espesores del pavimento, con base en las características de la subrasante y el tipo de tráfico, el diseño define el espesor de los adoquines, de la base y del material complementario.

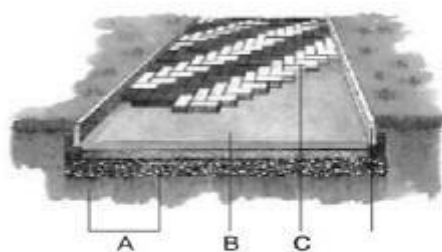
Se complementa el diseño con la utilización del “Diseño simplificado de pavimentos Adoquines” y el método de índice de grupo. Para el diseño geométrico se considera las recomendaciones que aparecen a continuación del capítulo que corresponde al cálculo de diseño estructural.

Ambos espesores quedarán claramente definidos antes de iniciar la obra, de manera que tanto la construcción como el comportamiento del pavimento puedan ser evaluados.

Por esta razón existen varios métodos para el diseño como ser:

- Método del diseño simplificado
- Método de índice de grupo
- Método del C.B.R.
- Método de Hveem
- Método del instituto del asfalto

Estas piezas de pavimento prefabricadas, deben cumplir con varios requisitos geométricos y de resistencia, como: muestreo, forma, dimensiones, color, textura y resistencia a varios esfuerzos. A continuación se darán algunos valores de lo mencionado.



A Preparación de la base  
 B Extendido y nivelación de la capa de arena  
 C Coloración de los adoquines, compactación, relleno de juntas con arena, nuevamente compactación.

### 5.1.5.5 FORMA

Los adoquines pueden asumir diferentes formas en su construcción, sin embargo conviene evitar aquellos que tienen formas irregulares, con este concepto el más conveniente son los que tienen forma rectangular.

### 5.1.5.6 DIMENSIONES

No es fácil señalar las dimensiones de estas piezas, sin embargo de manera informal, y de manera más común, se sugiere las siguientes dimensiones:

Espesor de	60 a 100 mm (+, - 3 mm)	tolerancia
Ancho	60 a 125 mm (+, - 2 mm)	tolerancia
Largo máximo	220 mm (+, - 2 mm)	tolerancia

### 5.1.5.7 COLOR

El color de los adoquines puede ser a discreción de los fabricantes y considerando los propósitos para cada caso, siempre y cuando el aditivo colorante no altere las propiedades del concreto. Importante señalar que en calles con mucho tránsito, el adoquín termina de color negrozco por el frotamiento de los neumáticos. Algunos urbanistas sostienen que el color debe ser neutro, es decir de color gris oscuro.

#### **5.1.5.8 TEXTURA**

La textura de los adoquines debe ser fina, para ser impermeables. El agregado usado por tal motivo debe ser fino, con algún material retenido en un tamiz número 4. Generalmente las arenas con algo de granza, son el agregado adecuado. Esta arena debe cumplir con las normas de agregado fino para concreto, sobre toda su resistencia al desgaste.

#### **5.1.5.9 RESISTENCIA AL DESGASTE**

Los adoquines deberán tener una adecuada resistencia al desgaste, la cual se logra al usar un agregado adecuado y una dosificación con cemento portland de buena calidad. El resultado de cualquier prueba mecanizada, práctica y confiable, no debe desgastar el adoquín más de 3 mm.

#### **5.1.5.10 RESISTENCIA A LA FLEXION**

En los adoquines igual que en las losas de concreto en pavimentos, el esfuerzo crítico es el de flexión, por lo tanto conveniente es especificar una resistencia a la flexión o módulo de ruptura.

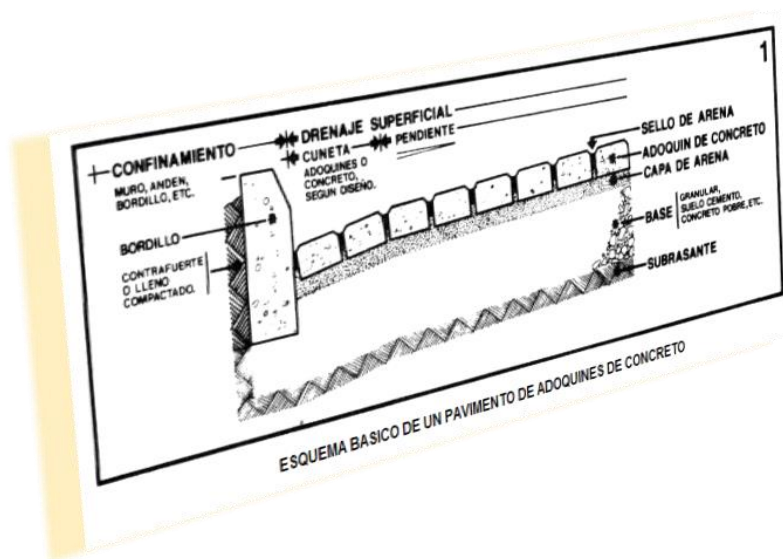
El valor de módulo de ruptura mínimo, determinado en un adoquín de forma rectangular o cortado con disco de diamante, es de  $40 \text{ kg./cm}^2$  y su módulo de ruptura (MR) es aproximadamente un 15 % de la resistencia a la compresión determinada y mencionada a continuación:

#### **5.1.5.11 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La resistencia a la compresión de los adoquines debe ser de  $300 \text{ Kg / cm}^2$ , determinada en probetas cúbicas obtenidos cortando las mitades de la prueba de flexión y considerando el propio adoquín, de acuerdo a ensayos realizados en el Servicio Departamental de Caminos SEDECA, se establece de  $180 \text{ kg/cm}^2$  a  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

Las dimensiones del cubo (o probeta sensiblemente cúbica), deben ser de un espesor igual a la del adoquín, a través del cual se aplicará carga de compresión y un ancho y largo que no difiera mucho del espesor.

### 5.1.5.12 COMPONENTES DE UN PAVIMENTO



Se denomina pavimento a toda estructura, que descansa sobre un terreno de fundación y el pavimento de adoquines estará constituido por diferentes capas que son: subrasante, Capa base, capa de rodadura (de la que hacen parte la capa de asiento o de arena, los adoquines y el sello de arena), confinamiento y drenaje.

### 5.1.5.13 SUBRASANTE

Es el piso o terreno sobre el cual se construye el pavimento y que le sirve como fundación. Puede ser un terreno natural o mejorado.

En este proceso de la uniformación en el nivel de subrasante, será una capa de 15 cm.

### 5.1.5.14 CAPA BASE

Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura, que le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento, puede ser simple o estar compuesta por dos o más capas de materiales debidamente adecuados.

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación.

Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

Por lo general, para la capa base se emplea piedra triturada, grava o mezclas estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso, etc.

#### **5.1.5.15 CAPA DE RODADURA**

Es la capa superior del pavimento que soporta directamente el tráfico está compuesto por la capa de arena, los adoquines y el sello de arena.

#### **5.1.5.16 METODO DE DISEÑO SIMPLIFICADO**

Radica, una vez obtenida la clasificación de suelos, ubicar en la tabla a que categoría de tránsito corresponde, como veremos posteriormente, en el diseño propiamente dicho. (Manual de pavimentos, asfalto, adoquín y empedrado)

#### **5.1.5.17 METODO DE INDICE DE GRUPO**

Una vez determinado los ensayos de consistencia de suelos, se determina el índice de grupo (I.G.) de los suelos, especialmente del terreno de fundación, el mismo que es punto de partida para calcular los espesores de las capas mediante gráficos elaborados para este efecto, tomando en cuenta las condiciones siguientes:

- Carga por rueda de 9.000 lb.
- Para terrenos de fundación debidamente compactados, con la humedad optima no menor a 95 % de la obtenida en laboratorio.
- Para sub-bases y bases compactadas a no menos de 100 % de su densidad máxima.

Además se supone que los sistemas de drenaje subterráneo y superficial son buenos y que el nivel freático, se encuentra a una profundidad que no perjudique en la estabilidad del terreno de fundación.

#### **5.1.5.18 METODO C.B.R.**

Este método establece la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad soporte como base de sustentación para el pavimento. Este método es empírico y se basa en una serie de trabajos de investigación y ensayos de laboratorio.

#### **5.1.5.19 METODO HVEEN**

Este método toma en cuenta a su vez, la calidad de las capas de la calzada y la presión del inchamiento del suelo compactado bajo la calzada. Está basado en la calidad del suelo por el ensayo del estabilómetro que necesita, sobre todo para la compactación de las muestras, un aparato pesado y poco adaptado a los laboratorios móviles que han sido obtenidas de diferentes correlaciones entre la estabilidad R de un suelo y sus demás características como el C.B.R. y la granulometría.

#### **5.1.5.20 METODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO**

Este método esta sacado de los ensayos de la A.A.S.T.H.O. y se basa en los métodos antiguos, publicados por el instituto del asfalto, toma en consideración el tráfico compuesto mediante una escala de factores de equivalencia y sobre un índice de estructura, teniendo en cuenta la naturaleza de las diferentes capas, el parámetro más importante que asume es el tráfico, el que esta representado por un número llamado “Design Trafic Nunber” que significa el número diario de pasadas de ejes, equivalentes a 18.000 lb, en el tramo más cargado de la vida de la calzada.

Si el número es menor a 10, el tráfico indica que el tránsito es reducido, si el número se encuentra entre 10 y 100, el tránsito es mediano, si el valor es mayor que 100, el tránsito es intenso.

## 5.2 PAVIMENTO RIGIDO



Son aquellos en los cuales la capa de rodadura esta formada por concreto de cemento portland con o sin armadura metálica, con frecuencia también de una capa base y a veces incluso de una capa sub-base.

Los pavimentos de hormigón se agrupan en diferentes categorías:

- Pavimentos de hormigón vibrado (sin o con pasadores)
- Pavimento de hormigón compactado
- Pavimento de hormigón armado
- Pavimento de hormigón pretensado

Los más empleados actualmente por su adaptabilidad técnica y económica a diferentes condiciones son los pavimentos en masa, estos pavimentos son en general los de construcción más sencilla y de menos costo, por los que las otras categorías suelen emplearse solo en determinadas circunstancias.

El pavimento, es una estructura formada por una o más capas de material pétreo tratado, cuya función es la de proporcionar al usuario un tránsito cómodo, seguro y rápido, al costo más bajo posible.

En Venezuela la mayor parte de los pavimentos son flexibles estando estos constituidos en su forma más sencilla por la sub-rasante, una capa sub-base, una capa base y una carpeta asfáltica de rodamiento, pero también existen pavimentos rígidos, los cuales están constituidos en su forma más sencilla; por una sub-rasante, una capa sub-base, una capa base y una capa de concreto; este tipo de pavimento actualmente es poco utilizado en nuestro país debido a su alto costo y a su tedioso proceso constructivo, pero el mismo debe ser empleado en carreteras en donde el tránsito vehicular sea elevado, en especial los vehículos pesados, ya que este tipo de pavimento tiende a ser más duradero en el tiempo que los pavimentos flexibles y requieren de menos presupuesto para el mantenimiento de la mencionada infraestructura.

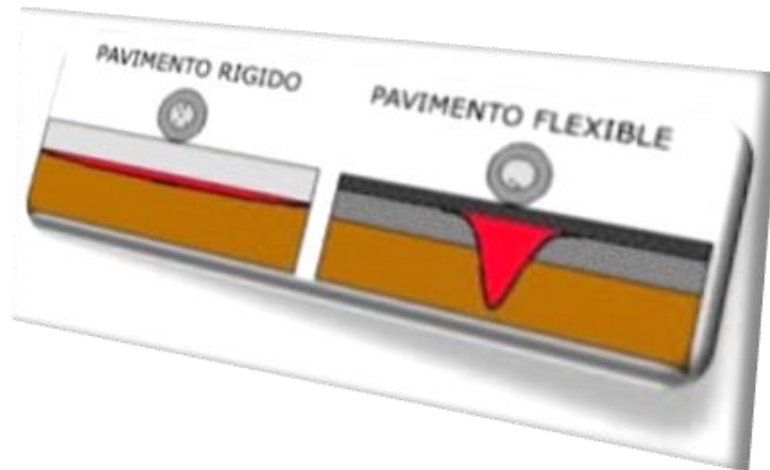
Ante todo se debe conocer que los pavimentos flexibles son aquellos que tienden a deformarse y recuperarse después de sufrir deformación, transmitiendo la carga en forma lateral al suelo a través de sus capas.

Está compuesto por una delgada capa de mezclas asfálticas, colocada sobre capas de base y sub-base, generalmente granulares de manera uniforme y compactada..

En tanto que los Pavimentos Rígidos: Son aquellos formados por una losa de concreto Pórtland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante.

Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada de manera de garantizar la uniformidad.

En función a lo señalado anteriormente; se puede diferenciar que en el pavimento rígido, el concreto absorbe gran parte de los esfuerzos que las ruedas de los vehículos ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores (Base, Sub-base y Sub-rasante). Conforme se muestra en el siguiente gráfico:



### 5.2.1 Pavimento de Hormigón vibrado

Se dispone en ello juntas transversales de contracción longitudinales de alabeo entre carriles ó cuando la anchura de construcción es superior a 5 m. resultado, generalmente losas rectangulares, salvo en intersecciones, ramales y otras superficies de ancho variable en que han de tener en cualquier caso, forma relativamente regular, sin ángulos agudos. Ambos tipos de juntas longitudinales y transversales, pueden ser también de construcción.

En las juntas longitudinales se disponen con frecuencia barras de unión de acero corrugado para mantener unidas las losas contiguas. Permiten el alabeo al gradiente térmico, pero impide la abertura de la junta entre carriles de circulación y el escalonamiento bajo tráfico. En cualquier caso, la incidencia de estos fenómenos suelen ser poco frecuentes en las juntas longitudinales.

Las juntas transversales suponen una solución de continuidad del pavimento, ya que los movimientos verticales, especialmente bajo la acción de los ejes de los vehículos pesados son diferentes en las juntas que en el interior de la losa. El método más usual para mejorar la transmisión de carga entre losa continua consiste en la disposición de pasadores, que son barras lisas de acero no adheridas al hormigón, situadas a la mitad del espesor de la losa, paralelas entre sí y al eje de la vía. Estos pasadores aseguran la continuidad de la rodadura a largo plazo bajo tráfico pesado, pues prácticamente imposibilitan el escalonamiento del pavimento en las juntas.

En cambio el llamado diseño californiano, actualmente empleado sólo para tráfico medio y ligero, prescinde de pasadores. Cuando la intensidad de vehículo es significativa (por ejemplo, más de 200 por carril y por sentido), se dispone bases no erosionables, sistemas de drenaje y losas cortas con juntas inclinadas para disminuir el efecto de las sollicitaciones.

Es el más empleado, dada su gran versatilidad. Está dividido en losas mediante juntas para evitar la aparición de fisuras debido a la retracción del hormigón. Las juntas transversales se disponen a distancias aleatorias comprendidas dentro de un rango de valores (4-7 m) para evitar fenómenos de resonancia. También pueden emplearse pasadores de acero para asegurar la transmisión de cargas entre losas

### **5.2.2 Pavimentos de hormigón compactado**

Entre los pavimentos de hormigón en masa, pueden incluirse los pavimentos de hormigón compactado con rodillo. Se trata de un hormigón con bajo contenido de agua (relación agua cemento igual 0,35 a 0,40) que ha de compactarse enérgicamente con rodillos vibratorios y de neumáticos, de forma similar a como se hace con gravacemento. El contenido de cemento es, sin embargo, análogo al de hormigón de pavimentos (no inferior a 300 kg./m<sup>3</sup>).

La extensión se lo efectúa con extendedora de mezcla bituminosa o motoniveladora, con lo que todas las fases de la puesta en obra pueden realizarse con la maquinaria más habitual en la construcción de carreteras. Una vez compactado y protegido superficialmente con un riego (puede ser el mismo empleado para el curado), el hormigón compactado puede darse inmediatamente al tráfico, por lo que resulta muy interesante para refuerzos de carreteras bajo tráfico.

Su comportamiento es similar al de los pavimentos tradicionales de hormigón vibrado. Sin embargo necesitan habitualmente un tratamiento superficial o una capa de rodadura bituminosa para protegerlos de la acción directa del tráfico. Por ello pueden también considerarse como firmes mixtos, con una reflexión de las juntas en superficie que hay que tratar de impedir o minimizar.

En carreteras secundarias puede dejarse que el hormigón se fisure libremente por retracción. En carreteras principales se recomienda formar en fresco juntas transversales

próximas (2.5 a 4 m.), para que las fisuras en superficie sean rectilíneas, de pequeña abertura y tarden varios años en aparecer.

Su puesta en obra se realiza mediante extendedoras y compactadoras dada su baja relación agua/cemento –entre 0.35 y 0.40-, por lo que el cemento suele contener un alto porcentaje de cenizas volantes para facilitar su trabajabilidad. Suelen acabarse con una capa de rodadura bituminosa, por lo que se les considera Pavimentos mixtos. Tienen la ventaja de poder abrirse al tráfico rápidamente.

### **5.2.3 Pavimento de hormigón armado**

Son los pavimentos de hormigón armado con juntas, constituidos por losas, los pavimentos continuos de hormigón armado y los pavimentos armados con fibras de acero. Los pavimentos de hormigón armado con juntas fueron concebidos en una época en que las juntas constituían la zona más débil y además se planteaba el problema de la conservación del pavimento, por lo que parecía conveniente reducir su número, aumentando la longitud de las losas. La misión de las armaduras no es estructural, sino la de mantener cosidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en las losas largas, de 7 m. de 10 a 20 m. y a veces mas de 20 m.

De este modo se asegura la transmisión de cargas en las fisuras, se impide la penetración de agua y finos, evitando la abertura en V de las grietas bajo los pavimentos continuos de hormigón armado constituyen en cambio una extrapolación positiva de la técnica antes mencionada, dado que llegan a suprimirse las juntas transversales, a costa de aumentar la cuantía de la armadura longitudinal de acero de alto límite elástico a valores superiores a 10 Kg. / m<sup>2</sup> (el mínimo de cuantía geométrica longitudinal es de 0,6 %). Se forman muchas fisuras de abertura inferior a 0,5 mm. distancias generalmente entre 1 y 3 m, que son imperceptibles para el usuario y que no se deterioran bajo la acción del tráfico.

El costo actual del acero resta competitividad a esta técnica. Aún así, los pavimentos continuos de hormigón armado pueden entrar en consideración en tramos con tráfico muy pesado, especialmente si se trata de refuerzos. Por otro lado, la sustitución de las barras por bandas corrugadas de acero de alto límite elástico permite reducir la cuantía hasta casi la mitad. Estas bandas se suministran en bobinas desenrollables.

Los pavimentos de hormigón armado con fibras de acero se empezaron a emplear hace muchos años en determinadas aplicaciones en que el elevado costo de este tipo de hormigón es compensado por sus características, aumento de la resistencia a la tracción y a la fatiga, mejor comportamiento a flexotracción, figuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. Se pueden utilizar diferentes tipos de fibras de acero. Una dosificación normal de fibras de extremos conformados puede ser de unos 40 kg./m<sup>3</sup>, que han de dispersarse homogéneamente por toda la masa del hormigón.

Con este material se puede reducir el espesor del pavimento en un 30 % y aumentar el espaciamiento de las juntas, por lo que algunos casos puede resultar competitivo, refuerzos adheridos a pavimentos existentes, pavimentos de puentes, pavimentos sometidos a cargas muy pesadas, etc.

#### **5.2.4 Pavimentos de hormigón pretensado.**

Debido a la compresión que se introduce, se pueden construir losas de hasta 120 m. de longitud y reducir el espesor hasta un 50 %. Se han ensayado varios sistemas de pretensado interno mediante cables o alambre (post- tensado) y de pretensado externo mediante gatos planos hidráulicos y juntas neumáticas. Las juntas tienen un diseño especial para soportar las mayores variaciones de abertura y con algunos sistemas hay que disponer estribos para resistir los empujes horizontales.

#### **5.2.5 Requerimientos para la construcción de pavimentos rígidos**

- Requisitos de los Materiales.
- Dosificación.
- Equipos Necesarios.
- Procedimiento Constructivo.
- Juntas de Concreto.
- Sellos de Juntas.
- Prevención y Corrección de Defectos.

### 5.2.5.1 Preparación de la Base

Antes de construir la losa de concreto que va a representar el pavimento rígido, se debe acondicionar la base de apoyo mediante el siguiente procedimiento:

- Se escarificara la base del terraplén hasta 20 centímetros.
- Se coloca el material apilado a lo largo de la carretera.
- Con una moto-niveladora se tumba el material apilado, formando un camellón a lo largo de la carretera.
- Mezclar material e incorporar la humedad optima y compactar, aplicando la siguiente ecuación:  $\text{Humedad Optima} = \text{Humedad del agregado} + \text{Humedad hidrosfópica del material}$ .
- Colocación de capas sueltas que al compactarla quedan con un espesor de 20-30 centímetros. La compactación se hace por capas, por ello se debe escarificar la capa inmediata inferior 5.00 centímetros, para lograr un buen adosamiento entre la capa inferior y superior evitando así planos de falla.
- En la última capa debemos darle a la sección transversal una pendiente de 2%, esto con el fin de garantizar que el espesor de la capa del pavimento sea igual en toda la sección transversal de la carretera. Esto se hace con una moto-niveladora, la cual hace el perfilado y el acabado o conformación final se realiza con el compactado de rodillo liso; la tolerancia admisible será de  $\pm 3$  centímetros con respecto a la cota del proyecto.

Luego sobre la base compactada, la que deberá estar limpia, se recomienda aplicar una membrana asfáltica del tipo MC-30 o similar, con el objetivo de crear un puente de adherencia entre la base y el concreto fresco. Además, sirve para minimizar problemas de alabeo de losas y evitar la pérdida de agua de amasado. Deberán verificarse los requisitos

topográficos, ya sea de la base, como así mismo del trazado, pendientes y peraltes, una vez colocado se deja entre 24 horas y 48 horas al aire libre, para la evaporación de los volátiles.

Posteriormente se hace el vaciado del concreto, y el mismo se hace por paños, los cuales están previamente encofrados; la composición del concreto dependerá de cómo se vaya a efectuar el encofrado.

El concreto debe cumplir con dos propiedades fundamentales como lo son el módulo de Resistencia a la ruptura y módulo de elasticidad.

**5.2.5.2 Resistencia a la Ruptura:** Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión ( $S'c$ ) ó Modulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días. Los valores recomendados para el módulo de ruptura varían desde 41 Kg/cm<sup>2</sup> (583 psi) hasta los 50 Kg/cm<sup>2</sup> (711 psi) a los 28 días dependiendo del uso que vayan a tener.

A continuación se presenta el módulo de ruptura recomendado según el tipo de pavimento:

Tipo de Pavimento	Módulo de Ruptura (MR) Recomendado	
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
<b>Autopista</b>	48.0	682.7
<b>Carreteras</b>	48.0	682.7
<b>Zona Industriales</b>	45.0	640.1
<b>Urbanas Principales</b>	45.0	640.1
<b>Urbanas Secundarias</b>	42.0	597.4

## **VENTAJAS**

Con el propósito comparativo en la utilización del pavimento Rígido frente al articulado, conlleva grandes ventajas y las principales son las siguientes:

### **5.2.5.3 Costos Totales Inferiores**

Al comparar diferentes alternativas de pavimentación en valor presente neto, generalmente el pavimento rígido resulta más barato. 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.

### **5.2.5.4 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.

### **5.2.5.5 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 éstos aspectos.

### **5.2.5.6 Fuga de divisas**

Los asfaltos de uso vial, cerámicos y adoquines 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.

### **5.2.5.7 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.

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

### **5.2.5.9 Resistencia**

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

### **5.2.5.10 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.

### **5.2.5.11 Indeformabilidad**

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

**5.2.5.12 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.

### **5.2.5.13 Drenaje**

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

### **5.2.5.14 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.

#### **5.2.5.15 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.

#### **5.2.5.16 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.

#### **5.2.5.17 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.

#### **5.2.5.18 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.

#### **5.2.5.19 Limpieza**

La superficie de hormigón es muy plana y fácil de limpiar.

#### **5.2.5.20 Ahorro de energía eléctrica, carburantes**

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.

#### **5.2.5.21 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.

#### **5.2.5.22 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.

#### **5.2.5.23 Señalización**

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

#### **5.2.5.24 Aeropuertos**

No existe sustituto a los pavimentos de hormigón para aeropuertos, debido a:

Superior capacidad de carga.

- Resistencia de reserva para sobrecargas no previstas
- Resistencia a la deformación.
- No se pierden partículas que podrían ser dañinas para turbinas y partes de los aviones.
- Excelente visibilidad para aterrizajes.
- Textura superficial permanente para prevenir “acuaplaneo” y resbalamientos.
- Menor acumulación de calor sobre la superficie del pavimento.
- No se requieren recapamientos periódicos ni cerrar aeropuertos para reparaciones.
- Construcción rápida y económica.
- Planificación de larga vida.

La posibilidad de ejecutar recapamientos de hormigón sobre pavimentos de asfalto en aeropuertos se viene utilizando desde hace 60 años con excelentes resultados. Pavimentos de hormigón de endurecimiento rápido pueden ser construidos y abiertos al tráfico en 12 horas.

**5.2.5.25 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.

**5.2.5.26 Investigación y Desarrollo** La investigación de temas referidos a la tecnología del hormigón constantemente obtiene nuevos resultados. El desarrollo de sobrecapas ultra delgadas de hormigón de alta resistencia, reforzado con fibras sintéticas de entre 7,5 a 10 cm de espesor, colocadas sobre asfalto deteriorado, conforma un “paquete estructural compuesto” de excelentes características y a un precio menor al de un recapamiento asfáltico y por supuesto, con mayor durabilidad.

En conclusión, los pavimentos de hormigón son más durables, más versátiles, más económicos y por tanto más convenientes para el desarrollo nacional, motivo por el cual el IBCH se halla abocado a su estudio y divulgación. Si requiere mayor información o asesoramiento técnico comuníquese con nosotros.

### **5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS.**

#### **5.4 PAVIMENTO FLEXIBLE**

##### **5.4.1 Ventajas:**

- Su construcción inicial resulta más económica.
- Tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años.

##### **5.4.2 Desventajas:**

- Para cumplir con su vida útil requiere de un mantenimiento constante.
- Las cargas pesadas producen roderas y dislocamientos en el asfalto.
- Las roderas llenas de agua de lluvia en estas zonas, pueden causar deslizamientos, pérdida de control del vehículo y por lo tanto, dar lugar a accidentes y a lesiones personales.
- Las roderas, dislocamientos, agrietamientos por temperatura, agrietamientos tipo piel de cocodrilo (fatiga) y el intemperismo, implican un tratamiento frecuente a base de selladores de grietas y de recubrimientos superficiales.
- Las distancias de frenado para superficies de hormigón son mucho mayores que para las superficies de asfalto sobre todo cuando el asfalto esta húmedo y con huellas. Una vez que se han formado huellas en un pavimento de asfalto, la

experiencia ha demostrado, que la colocación de una sobre carpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitara que se vuelva a presentar.

- Las huellas reaparecen ante la incapacidad de lograr una compactación adecuada en las huellas que dejan las ruedas y/o ante la imposibilidad del asfalto de resistir las presiones actuales de los neumáticos y los volúmenes de tráfico de hoy en día.

## **5.5 PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

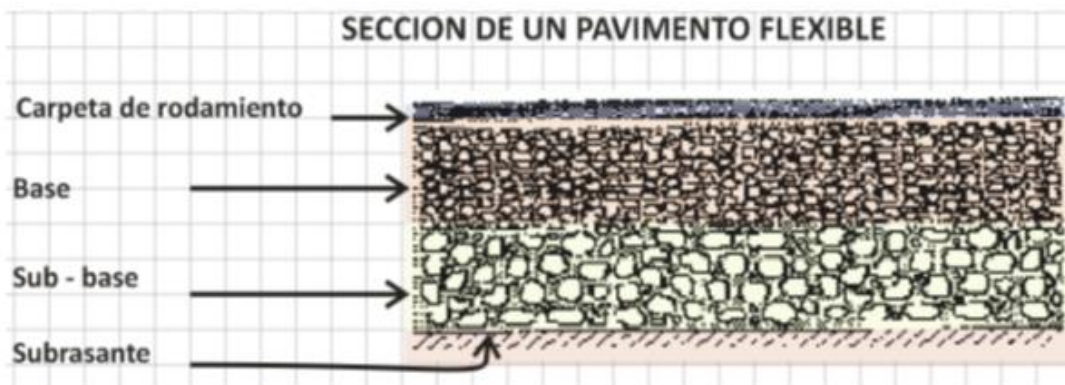
### **5.5.1 Ventajas:**

- El hormigón refleja la luz, lo que aumenta la visibilidad y puede disminuir los costos de iluminación en las calles hasta un 30%, en cantidad de luminarias y consumo de energía.
- El hormigón no se ahueca nunca, por lo tanto no hay acumulación de agua y, por ende, tampoco se produce hidropneumático. Por otra parte, se disminuye el efecto "spray", que es el agua que despiden los vehículos que van adelante sobre el parabrisas del de atrás, impidiendo la visibilidad.
- Es fácil darles "rugosidad" a los pavimentos de hormigón durante su construcción, para generar una superficie que provea de mayor adherencia.
- La rigidez del hormigón favorece que la superficie de rodado mantenga la planeidad.
- La lisura es el factor más importante para los usuarios. Actualmente, los pavimentos de hormigón se pueden construir más suaves que los de asfalto.
- A diferencia del asfalto, el hormigón puede soportar cargas de tráfico pesadas sin que se produzca ahuecamiento, deformaciones o lavado de áridos.
- La superficie dura del hormigón hace más fácil el rodado de los neumáticos. Estudios han demostrado que aumenta la eficiencia de combustible de los vehículos.
- El hormigón se endurece a medida que pasa el tiempo. Después del primer mes, el hormigón continúa lentamente ganando 40% de resistencia durante su vida.
- El hormigón tiene una vida promedio de 30 años.
- Los pavimentos de hormigón frecuentemente sobrepasan la vida de diseño y las cargas de tráfico.

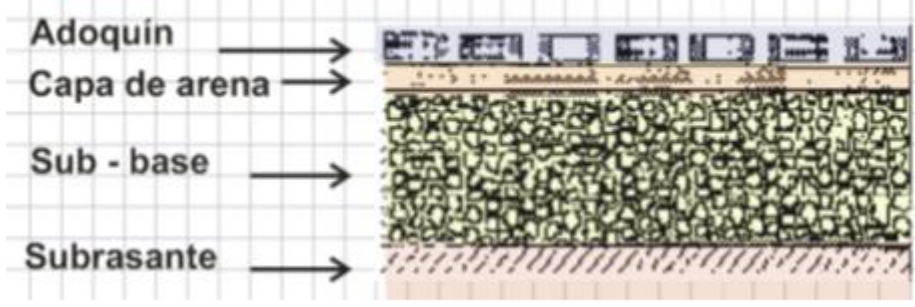
- Los pavimentos de hormigón se pueden diseñar para que duren desde 10 hasta 50 años, dependiendo de las necesidades del sistema.
- Las técnicas de restauración de pavimentos pueden extender su vida hasta tres veces la de diseño.
- Los pavimentos de hormigón tienen un mayor valor a largo plazo debido a su mayor expectativa de vida con los mínimos requerimientos de mantención.
- La durabilidad del hormigón disminuye la necesidad de reparación y/o mantenciones anuales, en comparación con pavimentos asfálticos.
- Los pavimentos de hormigón se pueden construir y dar al tránsito en tiempos reducidos, incluso de hasta 12 horas.

### 5.5.2 Desventajas:

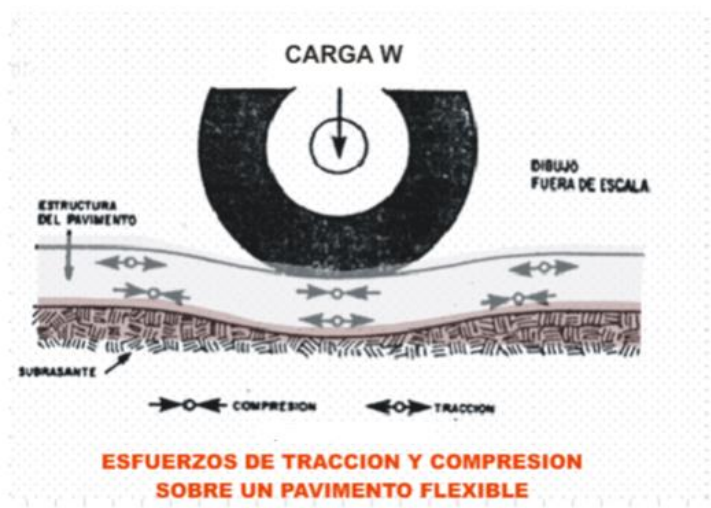
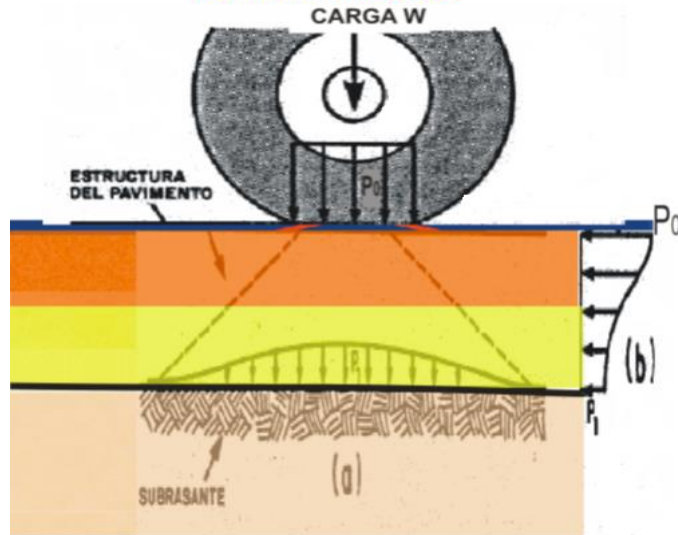
- Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible.
- Se deben tener cuidado en el diseño.



**SECCION DE UN PAVIMENTO ARTICULADO O ADOQUINADO**



**DISTRIBUCION DE CARGAS A TRAVES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE**



## CAPITULO VI

### 6. CARGAS DE DISEÑO

#### 6.1 Normativas para Cargas de Diseño

En nuestro país, a falta de un reglamento de carreteras y por ende de una norma de sobrecargas, emplearemos las reglamentaciones americanas provenientes de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), la misma que especifica dos tipos básicos de sobrecarga: los tipos H y los HS.

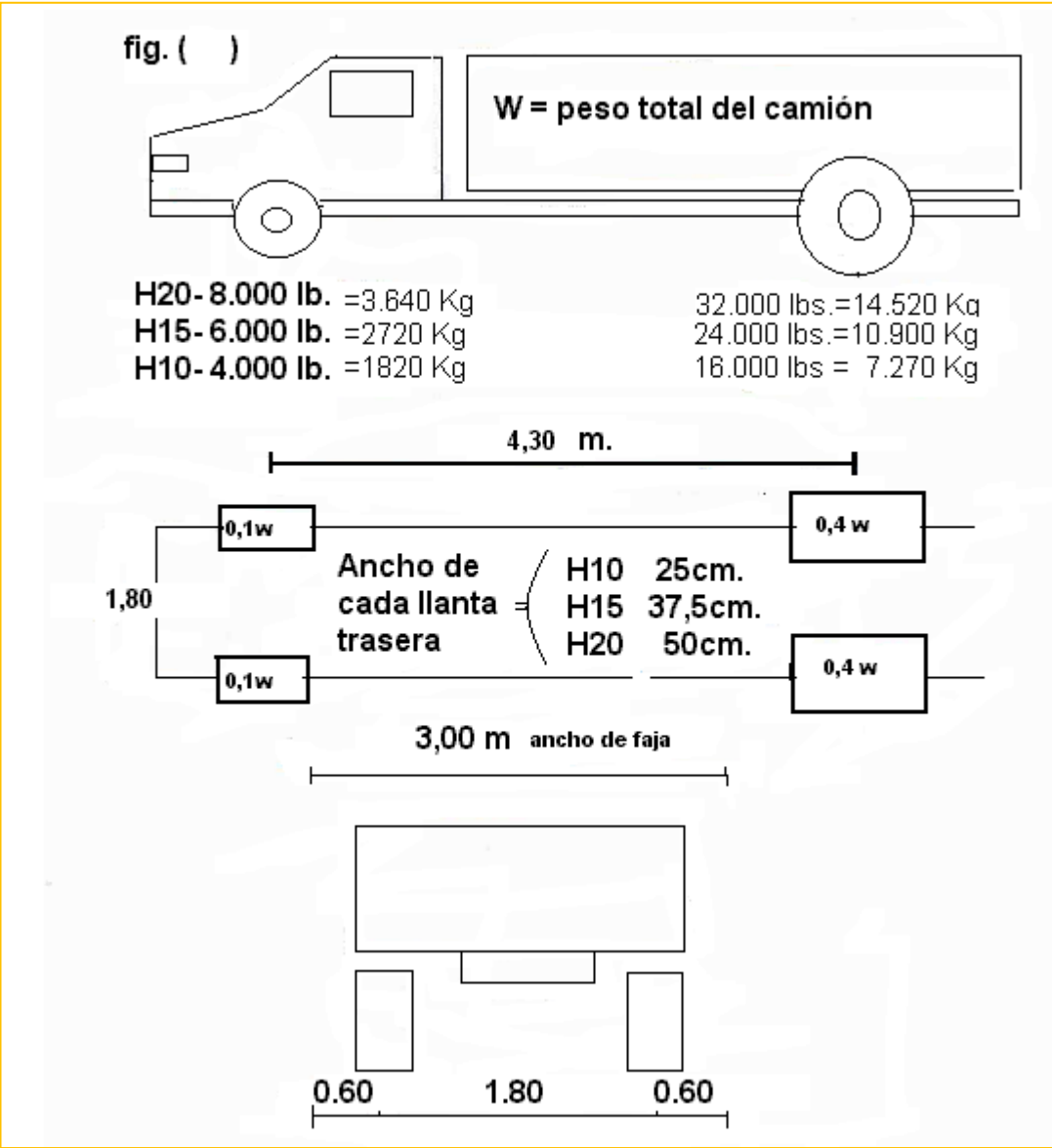
Los camiones H están formados por dos ejes de ruedas espaciados a 4.30 m, con las ruedas delanteras pesando la cuarta parte de las traseras. Cada eje consta de dos ruedas, las que están espaciadas a 1.80 m.

Pertenecen a este grupo H20 y el H15, cuyos pesos son respectivamente de 20 y 15 toneladas inglesas (una tonelada inglesa tiene 2000 libras).


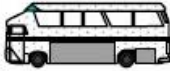


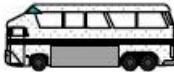

Los camiones HS están formados por un camión H y su acoplado S, es decir, que el H es el detallado anteriormente y su acoplado corresponde a la adición de un eje trasero cuya separación es variable entre 4.30 y 9.00 m.














Pertenecen a éste grupo el HS20 y el HS15 con pesos en toneladas inglesas de 36 y 27 respectivamente.

Para el presente proyecto solo consideraremos los camiones H, los cuales en unidades del sistema internacional tienen los siguientes pesos en los ejes.



Por las características del presente proyecto y considerando que el mismo se encuentra ubicado en una zona urbana, las cargas de diseño a usar será la correspondiente al camión tipo H15, ya que la vía de este diseño, se encuentra en zonas de la plazas y calles de acceso por lo que no debe contemplar el tránsito de vehículos pesados.

Nomencl. OPTT	Designac. COVENIN 614	TIPO DE VEHÍCULO	
Liviano	Liviano		Vehículo de pasajeros
2RD	2 Ejes		Autobús de 2 ejes
2RD	2 Ejes		Carg liviana -Camión 350 o simil.
2RD	2 Ejes		Carg pesad - Camión 750 o similar
O-3E	3 Ejes		Autobús de 3 ejes.
O-3E	3 Ejes		Camión de 3 ejes.

TIPO DE VEHÍCULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSSES	BUSETA	
	PIIS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMIÓN DE DOS EJES PEQUEÑOS	
C2-G	CAMIÓN DE DOS EJES GRANDES	
C3 Y C4	CAMIÓN C3	
	CAMIÓN C4	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S1	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S2	
	TRACTOR CAMIÓN C3-S1	
C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S2	
> C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S3	

Conociendo las condiciones del tránsito, **el pavimento puede ser diseñado para la vida de servicio que se desee**. Debe establecerse el volumen y peso del tránsito futuro previsible. Para calles de tránsito general y otras con cargas pesadas, el tránsito futuro tiene considerable influencia en su diseño.

Para calles residenciales y otras municipales de tránsito liviano, las variaciones de este tránsito suelen ser de poca importancia. **Se acostumbra a tomar vidas útiles del pavimento comprendidas entre 30 y 50 años**.

Para los pavimentos comprendidos en este estudio se ha tomado una vida útil de 40 años, la que se justifica en nuestro país por el comportamiento de antiguos pavimentos en servicio.

Para el dimensionamiento de los pavimentos interesan las cargas por eje esperadas en el carril de diseño, estas me determinarán la estructura del pavimento para el periodo de diseño adoptado. Es por esto que, probablemente, la variable más importante en el diseño de un pavimento de una vía es el tránsito; éste se define como la determinación del número, tipo y peso de vehículos que transitan por determinada ella. Es necesario cuantificar la variable tránsito existente ya que ésta genera cargas y deformaciones sobre el pavimento.

El Instituto Nacional de Vías INVIAS ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan en el país:

- A: Vehículos livianos (automóviles)
- B: Buses
- C: Camiones

Además se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de los ejes.

El estudio en cuestión clasifica el tránsito de diseño en dos niveles, en función del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas previstas durante el periodo de diseño. Para cuantificar adecuadamente los volúmenes de tránsito, se divide en:

- Tránsito normal: Tránsito que circularía por la red si no se realizara el proyecto.
- Tránsito atraído: Tránsito que utilizará el proyecto, por las ventajas o beneficios que ofrece.

- Tránsito generado: Se origina por el proyecto debido a mejores condiciones de oferta (tránsito nuevo por efecto del desarrollo del área de influencia).

El proyectista deberá considerar en el cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas para el diseño, el nivel de confiabilidad que considere pertinente.

En el caso en que existe serie histórica del tránsito, el modelo estadístico que se adopte, a través de los errores estándar del modelo y de predicción para cada uno de los años del periodo de diseño, considerara la confiabilidad indicada por el proyectista.

De la experiencia de otros países y del comportamiento de los mismos, podemos rescatar el caso de si en el tramo de vía analizado se encuentra una estación de conteo de tránsito, con información continua de por lo menos 5 años, el procedimiento para la determinación del tránsito normal se describe a continuación:

- Identificación de la serie histórica del tránsito en la estación de conteo seleccionada
- Conversión de la serie histórica del tránsito a ejes equivalentes de 8.2 toneladas
- Análisis estadístico de la serie histórica donde se establecen los modelos de crecimiento factibles para las condiciones del estudio.
- Selección del modelo factible de crecimiento de tránsito: se acepta o rechaza un modelo sobre la base de los resultados de los coeficientes estadísticos, del análisis de las variables independientes adoptadas y de consideraciones acerca de las particularidades del proyecto.
- Estimación del tránsito proyectado para el periodo de diseño, en el carril de diseño y considerando un nivel de confianza predeterminado.

## CAPITULO VII

### 7. PAVIMENTO ARTICULADO

#### 7.1. GENERALIDADES

Para el diseño estructural se considero los siguientes datos:

<b>CBR</b>	<b>3.5% ---- 4 %</b>
<b>TPD</b>	<b>234 Vehículos / día</b>
<b>CARGA POR EJE</b>	<b>10.900 Kg camión tipo H15</b>

#### 7.2. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO ARTICULADO

En esta parte, para el diseño del pavimento articulado utilizaremos:

- Diseño simplificado de pavimentos adoquinados.
- Método de índice de Grupo.

##### 7.2.1. Diseño Simplificado de Pavimentos Adoquinados

Se consideran los pavimentos adoquinados como de pavimento flexible. La capa de adoquines y su capa de asiento, al recibir la carga de los vehículos, transmite prácticamente igual a la capa siguiente que es la base de pavimento.

Se tendría que hacer una investigación de campo y de laboratorio para determinar cuanta carga absorben las capas adoquin asiento. Cualquiera que fuera el resultado, tendría que ser de poca magnitud. Por lo tanto se considera que el adoquín – asiento funciona como una carpeta especial. Los valores siguientes de capas para este pavimento, son muy semejantes a las de pavimentos de asfaltos, figura (7,1)

## 7.2.2 Esquema básico de un pavimento de adoquines de concreto

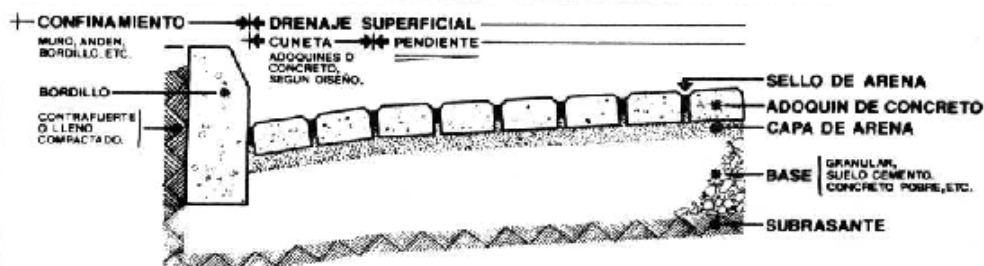


fig. (7,1)

A continuación se presenta diferentes tablas que nos permitirán diseñar el pavimento articulado.

### 7.2.3 Pavimentos Adoquinados

(Banquetas, plazas y andadores) Transito "A"

CAPA	BUENA	REGULAR	POBRE
ADOQUINADA		6	
ASIENTO		2	
BASE GRANULAR	-	6	10
SUB-BASE GRANULAR	-	-	-
ESPEJOR TOTAL	8	14	18

### 7.2.4 Pavimentos adoquinados (Calle para peatones) Transito "B"

CAPA	BUENA	REGULAR	POBRE
ADOQUINADA		8	
ASIENTO		3	
BASE GRANULAR	-	10	15 -
BASE SUELO-CEMENTO	-	-	- 10
SUB-BASE GRANULAR	-	-	-
ESPEJOR TOTAL	11	21	26 21

**7.2.5 Pavimentos Adoquinados (Calles Residenciales, Estacionamientos para automóviles) Transito “1”**

<b>CAPA</b>	<b>BUENA</b>		<b>REGULAR</b>		<b>POBRE</b>	
<b>ADOQUINADA</b>			10			
<b>ASIENTO</b>			3			
<b>BASE GRANULAR</b>	10	-	15	-	15	-
<b>BASE SUELO-CEMENTO</b>	-	8	-	10	-	15
<b>SUB-BASE GRANULAR</b>	-	-	-	-	10	-
<b>ESPEJOR TOTAL</b>	23	21	28	23	38	28

**7.2.6 Pavimentos Adoquinados (Calles Residenciales Alimentadoras, Pocos autobuses) Transito “2”**

<b>CAPA</b>	<b>BUENA</b>		<b>REGULAR</b>		<b>POBRE</b>	
<b>ADOQUINADA</b>			10			
<b>ASIENTO</b>			3			
<b>BASE GRANULAR</b>	15		15		15	-
<b>BASE SUELO-CEMENTO</b>	-	10	-	14	-	12
<b>SUB-BASE GRANULAR</b>	-	-	-	10	15	10
<b>ESPEJOR TOTAL</b>	28	23	38	27	43	35

**7.2.7 Pavimentos Adoquinados (Avenidas, Estacionamientos industriales, Regular cantidad de autobuses) Transito “3”**

<b>CAPA</b>	<b>BUENA</b>		<b>REGULAR</b>		<b>POBRE</b>	
<b>ADOQUINADA</b>			10			
<b>ASIENTO</b>			3			
<b>BASE GRANULAR</b>	15		15		15	---
<b>BASE SUELO –CEMENTO</b>	-	10	-	12	-	12
<b>SUB-BASE GRANULAR</b>	10	10	15	12	20	12
<b>ESPEJOR TOTAL</b>	38	33	43	40	48	45

**7.2.8 Pavimentos Adoquinados (Calzadas, Calles Comerciales, Muchos autobuses) Transito “4”**

<b>CAPA</b>	<b>BUENA</b>		<b>REGULAR</b>		<b>POBRE</b>	
<b>ADOQUINADA</b>			10			
<b>ASIENTO</b>			3			
<b>BASE GRANULAR</b>	15		15		15	
<b>BASE SUELO –CEMENTO</b>	-	10	-	12	-	12
<b>SUB-BASE GRANULAR</b>	15	15	20	20	25	25
<b>ESPEJOR TOTAL</b>	43	38	48	45	53	50

Para el proyecto en cuestión, de acuerdo a resultados obtenidos en laboratorio considerando que se tiene un:

**C.B.R. = 4 % al 100 % de D. Max.**

**C.B.R.= 3.3 % al 95 % de D. Max.**

Se observa que éste suelo se clasifica A – 6 (10) de la clasificación AASHTO, es decir, se encontraron suelos de la subrasante, arcilloso de mediana plasticidad, por lo tanto es un suelo pobre (malo).

En consecuencia sobre la base de lo obtenido, la subrasante es mala y utilizando el cuadro (7,3) que corresponde a calles residenciales y estacionamientos para automóviles **categoría 1**

La estructura del pavimento adoquinado queda conformada de la siguiente manera:

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Espesor del adoquín	10 cm.	10 cm.
Asiento (capa de arena)	3 cm.	3 cm.
Base granular	15 cm.	-----
Base suelo-cemento	-----	15 cm.
Subbase granular	<u>10 cm.</u>	-----
Espesor total	38 cm.	28 cm.

Como se observa se puede tomar cualquiera de las dos alternativas que se plantean, y queda definido el diseño estructural del proyecto.

Para poder hacer una verificación comparativa también calculamos a través del método de índice de grupo.

### 7.2.9 Método Índice de Grupo

Habiendo realizado el ensayo de Suelos y extraído muestras en 4 diferentes puntos del área involucrada, obtuvieron los siguientes resultados:

<b>PASA EL TAMIZ N° 200</b>	<b>%</b>
<b>Muestra 1</b>	86,1
<b>Muestra 2</b>	87,4
<b>Muestra 3</b>	87,4
<b>Muestra 4</b>	87,5

Sobre la base de estos resultados este suelo se clasifica en el grupo A-6 que textualmente indica:

Grupo A-6 El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75 % de estos suelos debe pasar el tamiz N° 200, pero también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64 %.

Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo. (Carreteras, calles y aeropistas de Valle Rodas pag 53)

El índice de grupo puede determinarse mediante la fórmula:

#### **Índice de grupo (7,1)**

$$IG = (F-35) (0,2 + 0,005 (LI - 40)) + 0,01 (F-15)(Ip-10)$$

**Donde :**

**F = porcentaje que pasa por tamiz N° 200**

**LI = límite líquido**

**Ip = índice de plasticidad**

El índice de grupo se puede también determinar por medio del diagrama indicado en fig. (Valle Rodas pag. 54)

Luego; tomando el mayor porcentaje de los cuatro ensayos tenemos:

Suelo A-6 con 87,5 % de material fino que pasa por tamiz N° 200 un límite líquido de 32,8 y un índice de plasticidad de 13,8

Utilizando la fórmula (7,1)  
se tiene un índice de grupo de 11,37 (IG = 11.37)

En este método la clasificación de tránsito para la determinación de espesores es la siguiente:

#### **Tránsito liviano**

- Aquel que tiene un tránsito comercial menor de 50 camiones y autobuses diarios.

#### **Tránsito mediano**

- Aquel cuyo tránsito comercial esta comprendido entre 50 y 300 camiones y autobuses diarios.

#### **Tránsito pesado**

- Aquel que tiene un tránsito comercial mayor de 300 camiones y autobuses diarios.

En todos los casos anteriores, se supone que un máximo de 15 % de los vehículos, tiene por rueda de 9.000 lb. (4.086 Kg.)

Sobre la base de los datos que tenemos nuestro tránsito para el proyecto es mediano; porque se encuentra entre 50 y 300 vehículos / día.

Por tanto con los resultados obtenidos recurrimos a tablas (pag. 260 Valle Rodas).

Se obtiene un  $IG = 11,37 > 9$  que corresponde a suelo malo por tanto tendrá los siguientes espesores:

**Subrasante = 20 cm**

**Base + capa de rodadura = 22 cm**

---

**Espesor total del pavimento = 42 cm**

En resumen el pavimento articulado de los dos métodos es:

<b>METODO</b>	<b>SUBRASANTE</b>	<b>BASE</b>	<b>CAPA DE ASIENTO</b>	<b>ADOQUIN</b>	<b>ESPEJOR TOTAL</b>
<b>DISEÑO SIMPLIFICADO DE PAVIMENTO</b>	10	15	3	10	38
<b>INDICE DE GRUPO</b>	20	10	2	10	42

CUADRO Nº (7,8)

Comparando las dos alternativas se observa que entre ambos existe una aproximación de 91 %

En consecuencia para fines del presente proyecto adoptaremos el espesor de la carpeta estructural siguiente:

**SUB-RASANTE = 20 cm.**

**BASE = 10 cm.**

**CAPA DE ASIENTO = 2 cm.**

**ADOQUIN = 10 cm.**

---

**ESPEJOR TOTAL = 42 cm.**

### **7.3 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO GEOMETRICO DEL PAVIMENTO ARTICULADO**

Como dijimos anteriormente presentaremos a continuación recomendaciones muy importantes para la construcción de pavimentos articulados (adoquines de concreto).

#### **7.3.1 Construcción de pavimentos con adoquines de concreto para tráfico vehicular común.**

##### **7.3.1.1. Definición**

Como tráfico vehicular común se entiende al constituido por automóviles, buses y camiones con llantas neumáticas, cargas por eje y presiones de inflado acordes con la reglamentación para vías públicas.

##### **7.3.1.2. Organización del Trabajo**

El proceso constructivo de un pavimento de adoquines comprende las siguientes actividades fundamentales:

- Construcción de las Obras de drenaje
- Transporte ordenado de los materiales
- Adecuación de la subrasante
- Construcción de base
- Construcción del confinamiento
- Colocación y nivelación de la capa de arena
- Colocación de la capa de rodadura, que a su vez comprende:
  - Colocación de los adoquines
  - Sellado con arena y compactación en dos etapas
  - Limpieza de la obra.

La prohibición de circular sobre la capa de arena, una vez extendida, divide la obra en dos áreas de trabajo que deben tener suministro de materiales y equipos desde direcciones

opuestas. Puesto que el proceso constructivo deberá avanzar siempre en una misma dirección, por un lado se traerán los materiales para la base y la capa de arena y por el otro la arena para sello, los adoquines y el equipo de compactación.

Se puede tener un orden en la obra que se vaya desplazando, con diferentes cuadrillas trabajando en cada una de las etapas o una sola cuadrilla que construya cada tramo en su totalidad.

La cuadrilla mínima de trabajo será de tres obreros, quienes llevarán a cabo, conjuntamente, todas las labores, rotándose para no sobrecargar a uno u otro con la actividad que implica el mayor esfuerzo físico, que por lo general es la colocación de adoquines.

Antes de comenzar la obra, y conociendo la disponibilidad de mano de obra y de equipo se debe planificar la secuencia de construcción el transporte de los materiales y su distribución. Se definirá por ejemplo si se pavimenta en franjas continuas con la dirección del avance de la obra (por carriles) o completando franjas en sentido transversal.

### **7.3.1.3. Subrasante**

La subrasante estará conformada por un material libre de materia orgánica, que se compactará lo necesario para permitir las labores de construcción de la base. Será lo más homogénea posible, por lo cual se deberá retirar del material de las zonas con calidad inferior a la predominante y reemplazarlo con otro de al menos igual calidad que el último.

A la subrasante se le dará el mismo perfil especificado para la superficie de adoquines, de manera que la colocar la base y la capa de arena, ambas con un espesor uniforme en toda el área del pavimento, se llegue a las cotas de diseño conservando dicho perfil.

#### **7.3.1.4. Base**

#### **7.3.1.5 Materiales de Construcción.**

Los materiales y la construcción de las bases para pavimentos de adoquines cumplirán con los requisitos establecidos en las Normas Locales sobre construcción de pavimentos, con los siguientes requisitos.

- Los tipos bases que no estén incluidas en las normas cumplirán con los requisitos especificados por el diseñador de espesores del pavimento.
- La base tendrá una densidad uniforme en toda su extensión y profundidad y este requisito se observará de manera especial en las zonas cercanas a las estructuras de confinamiento, sumideros, cajas de inspección, etc., donde el proceso de compactación es más difícil de llevar a cabo.

#### **7.3.1.6 Tolerancias**

La superficie de la base, evaluada con una regla de tres metros sobre una línea que no esta afectada por cambios en las pendientes de la vía, no se separa de la regla más de 10 mm. (1 cm). Además cualquier punto de la superficie estará entre + 0 y – 10 mm. (1cm.) de la cota de diseño, y el espesor no será menor que el proyecto menos 5mm.

#### **7.3.1.7 Capa de Rodadura**

##### **Capa de arena**

##### **Material**

La arena que se utilice como material de la capa sobre la cual se van a colocar los adoquines, será limpia y tendrá una granulometría continua tal que la totalidad de la arena pase por el tamiz (3/8”) y no más del 5% pase el tamiz (N° 200).

Se recomienda los siguientes límites dentro de los cuales deberá estar la curva granulométrica:

- Las arenas gruesas limpias, que comúnmente se utilizan para elaborar morteros para pega de ladrillo, generalmente son adecuados para ser utilizados como material para la capa de arena.
- La arena se almacenará de tal manera que se pueda manejar y se deberá proteger de la lluvia para que su contenido de humedad sea lo más posible.
- Antes de utilizar se revolverá para buscar su homogeneidad. Es aconsejable pasarla por su tamiz o zaranda, con perforaciones de 10mm. (1cm) para que quede suelta y al mismo tiempo se le puedan retirar los sobretamaños.
- Desde cuando se tamiza la arena hasta la colocación de los adoquines sobre la capa de arena ya conformada, esta no sufrirá ningún proceso de compactación, para que se pueda garantizar una densidad uniforme en toda la capa.
- La capa de arena se colocará con un espesor uniforme en toda el área del pavimento, por lo cual no se podrá utilizar para compensar irregularidades o definiciones en el nivel de la base se deberá extender por tramos cortos a medida que se vaya avanzando con la capa de adoquines.
- Para colocar la capa de arena se recomienda utilizar tres reglas, dos a modo de rieles, puesto directamente sobre las bases, y otra enrasadora de la arena distribuida previamente entre las rieles.
- El espesor suelto de la capa de arena, y por lo tanto la altura de los rieles, será tal que, una vez compactado el pavimento, la capa de arena quede con un espesor entre 2 y 4 cm, esto se puede verificar en un pequeño tramo de ensayo. Por lo general un espesor suelto de 40 mm (4 cm) resulta adecuado.

- Es aconsejable manejar reglas de tres metros que proporcionen una zona de trabajo suficientemente amplia, y que a la vez sirva para verificar las tolerancias del nivel de la subrasante de la base y del pavimento ya terminado. Comúnmente se utilizarán secciones de madera o perfiles huecos de aluminio.
- El desplazamiento de la enrasadora se deberá efectuar siguiendo siempre la dirección de los rieles sin movimiento a lado y lado, y arrastrando un sobreespesor de arena que garantice que toda la capa quedará completa. Es conveniente que la enrasadora sea manejada por dos personas.
- Una vez enrasada la capa de arena se podrá retirar los rieles, la huella dejada por estos se deberá llenar, por métodos manuales, con arena suelta hasta alcanzar el nivel del resto de la capa.
- Si la arena ya colocada sufre algún tipo de compactación se le dará varias pasadas con un rastrillo para devolverle la soltura y se enrasará de nuevo.
- No se permitirá colocar adoquines sobre una capa de arena que haya soportado lluvias o escorrentía, lo que implicará tener que levantarla, devolver a la zona de almacenamiento y reemplazarla por arena uniforme y suelta.
- En las zonas, donde el tráfico sobre el pavimento de adoquines vaya a ser escaso, para evitar la proliferación de hierba en las juntas se podrá aplicar por aspersión, un herbicida sobre la capa de arena ya nivelada antes de colocarle los adoquines.

## **Adoquines**

Los adoquines cumplirán con las exigencias establecidas, es decir con todos sus requisitos de calidad.

## **Transporte de los adoquines**

El transporte y manejo de los adoquines desde la planta prefabricadora hasta la obra se hará de manera ordenada, por métodos manuales o mecánicos que no alteren en acabado de las piezas.

Asimismo, el transporte de los adoquines dentro de la obra se hará utilizando sistemas que sean eficientes y que tampoco alteren la calidad de las piezas.

Los adoquines se pondrán al alcance de la mano de los colocadores para lograr un buen rendimiento en esta actividad.

Una manera efectiva de hacerlo es mediante la disposición de pequeños arrumes a lo largo del borde del avance de la colocación de adoquines o utilizando camas largas que contengan adoquines suficientes para varias hileras.

## **Colocación**

El colocador adoptará la posición que le resulte más cómoda y que le de mejor rendimiento.

Los integrantes de la cuadrilla ejecutarán, alternativamente, las diferentes labores para evitar la fatiga excesiva de unos u otros.

La colocación de los adoquines seguirá un patrón uniforme, que se controlará con hilos para asegurar su alineamiento transversal y/o longitudinal.

El patrón de colocación esta regido por la forma de los adoquines, que se puede clasificar en tres categorías principales

### **7.3.1.8 Categoría “1”**

Adoquines rectangulares (modulares), con una relación largo / ancho igual a dos; con un ancho + - 15 mm (10+ - 1,5 cm), para que se puedan coger con una sola mano; con bordes rectos dentados u ondulados y que se pueden colocar en hileras o siguiendo el patrón “espina de pescado”.

### **7.3.1.9 Categoría “2”**

Adoquines con tamaño y proporciones similares a los de la categoría 1 pero que se pueden colocar en hileras.

### **7.3.1.10 Categoría “3”**

Adoquines con un tamaño mayor que el de los anteriores con formas características y que solo se pueden colocar siguiendo un sólo patrón, que no siempre conforma hileras fácilmente identificables.

Para la categoría 1 se preferirá el patrón “espina de pescado”. Dispuestos en cualquier ángulo sobre la superficie pues no se tiene un sentido preferencial de circulación.

En vías con circulación definido y adoquines de la categoría 1, se podrán colocar en hileras, siempre y cuando estas sean perpendiculares a dicho sentido de circulación.

Para la categoría 1 el patrón de colocación “espina de pescado” se podrá seguir de manera continua sin necesidad de alterar su rumbo al doblar esquinar o seguir trazando curvos. Si los adoquines se colocan en hileras estas deberán cambiar de orientación para respetar siempre la perpendicularidad al sentido preferencial de circulación.

Para la categoría 2 los adoquines se colocarán preferiblemente en hileras perpendiculares al sentido preferencial de circulación.

Si se tiene adoquines de la categoría 3 que se puedan colocar en hileras estas quedarán de ser posible perpendicular a la dirección preferencial al tráfico. Los otros diseños de estas categorías no tendrán ninguna restricción.

Los adoquines se colocarán directamente sobre las capas de arena ya enrasada. Se colocarán al tope de manera que las caras laterales generen juntas que no excedan los 5 mm (0,5cm). No se nivelarán individualmente.

En zonas o vías con pendientes bien definidas, la construcción del pavimento y de manera especial la colocación de los adoquines se hará preferiblemente de abajo hacia arriba

### **Ajustes**

Una vez se haya terminado de colocar los adoquines que quepan enteros dentro de la zona de trabajo, se colocarán ajustes en los espacios que hayan quedado libres contra las estructuras de drenaje o de confinamiento. Dichos ajustes se harán, preferiblemente, partiendo adoquines en piezas con la forma necesaria en cada caso.

Para partir los adoquines se pueden utilizar herramientas manuales (cincel, mazo, hachuela, etc.), o máquinas diseñadas para este propósito (mecánicas o hidráulicas).

Los ajustes de espacios, con un área equivalente a  $\frac{1}{4}$  o menos de la de un adoquín, se harán, después de la compactación inicial e inmediatamente antes de comenzar el sellado de las juntas llenándolos con un mortero constituido por una parte de cemento, cuatro de arena y poca agua

### **Compactación**

Para la compactación de la capa de adoquines se utilizará una máquina vibrocompactadora de placa.

Para adoquines de 60mm de espesor se recomienda que el equipo tenga una placa con un área entre 0,2 y 0,4 m<sup>2</sup> una fuerza centrífuga entre 7 y 16 kN y una frecuencia de vibración entre 70 y 100 Hz. Para adoquines de 80 mm o más el área deberá estar entre 0,25 y 0,5 m<sup>2</sup> la fuerza centrífuga entre 15 y 20 kN y la frecuencia entre 75 y 100 Hz.

Una vez terminada la compactación final y el sellado del pavimento, se podrá llevar a cabo una compactación adicional con una compactadora de rodillos pequeña o con un equipo de compactación con llantas neumáticas. Esto ayudará a que las deformaciones posteriores en el pavimento sean menores

Cuando se terminen los ajustes con piezas partidas se procederá de inmediato a la compactación inicial de la capa de adoquines mediante al menos dos pasadas desde diferentes direcciones de una maquina vibrocompactadora de placa. Sin no se dispone de este equipo se podrá utilizar rodillos manuales, duplicándose el número de pasadas.

El área adoquinada se compactará hasta un metro del borde de avance de la obra o de cualquier borde no confinado. Al terminar la jornada de trabajo los adoquines habrán recibido, al menos, la compactación inicial excepto la franja de un metro ya descrita.

Después de la compactación inicial pueden resultar algunos adoquines, partidos los cuales todavía son fáciles de extraer en esta etapa de la construcción y que deben ser reemplazados. En el pavimento terminando solamente se admitirá un 1% de adoquines partidos y ningún exhibirá fractura múltiple.

Inmediatamente después de la compactación inicial se procederá al sellado de las juntas entre adoquines y a la compactación final, previa ejecución de los ajustes con mortero.

Durante la compactación final, cada punto del pavimento recibirá al menos 4 pasadas del equipo recomendado, preferiblemente desde distintas direcciones. En cada pasada se cubrirá toda el área en cuestión antes de repetir el proceso.

Se recomienda acometer la compactación tanto inicial como final, en áreas mayores que 20 m<sup>2</sup> para que se justifique la puesta en marcha del equipo motorizado.

### **Tolerancias**

La superficie del pavimento de adoquines ya terminada, evaluada con una regla de tres metros sobre una línea que no este afectada por cambios en las pendientes de la vía no se separará de la regla más de 10 mm (1 cm) dicha medición sobre los biseles ni las juntas.

## **Sello de arena**

### **Material**

La arena que se utilice para sellar las juntas entre adoquines estará tan libre de materia orgánica y contaminante como se pueda y tendrá una granulometría continua tal que la totalidad de la arena pase por el Tamiz 2,38 mm (Nº 8) y no más de 15% pase el Tamiz (Nº 200).

Se recomienda los siguientes límites dentro de los cuales deberá estar la curva granulométrica.

Las arenas finas que comúnmente se utilizan para elaborar morteros para revoques pañetes son por lo general adecuadas para ser utilizadas como material para sello de arena.

### **Manejo**

En el momento de su utilización la arena para el sellado de las juntas estará lo suficientemente seca y suelta como para que pueda penetrar por barridos dentro de las juntas.

Se recomienda dejarla secar bajo y luego pasarla por un tamiz o zaranda de 5 mm. para que quede suelta y al mismo tiempo eliminarle los sobretamaños.

### **Colocación.**

Para que la arena penetre dentro de las juntas se le ayudará con una escoba o cepillo de cerdas largas y duras barriendo repetidamente y en distintas direcciones una cantidad moderada de la misma.

Dicho barrido se repetirá antes de, o simultáneamente con cada pasada del equipo vibrocompactadora y al final de la operación de manera que las juntas queden totalmente llenas. Si se pasa la vibrocompactadora de placa sobre cantidades exageradas de arena distribuida irregularmente sobre los adoquines se puede alterar la nivelación de los mismos.

Se dejará, durante al menos dos semanas, un sobrante de arena esparcida sobre toda la superficie del pavimento de adoquines ya terminados de manera que el tráfico y las probables lluvias ayuden a acomodar la arena y con esto a que el sello se consolide. Si esto no es posible y la interventoria exige que el pavimento quede limpio al terminarlo, el constructor regresará a las dos semanas y efectuará un barrido de más arena para rellenar los espacios que se hayan abierto por acomodación de la arena dentro de las juntas.

No se permitirá el lavado del pavimento con chorro de agua a presión ni inmediatamente después de su terminación ni edades posteriores; [66] dicho métodos puede desalojar material dentro de las juntas, con el consiguiente perjuicio. Se aconseja limpiar por barrido o cepillado la utilización de manguera como para el lavado de automoviles o regado de plantas no es perjudicial siempre y cuando no se trate de lavar las juntas con el chorro de agua.

### **Confinamiento.**

El confinamiento será una estructura capaz de impedir el desplazamiento lateral de la capa de adoquines debido al empuje del tráfico vehicular [68] y además deberá resistir directamente dicho empuje.

El confinamiento rodeará completamente el área del pavimento de adoquines bajo una o varias de las siguientes formas: muros, andenes estructuras de drenaje bordillo la estructura completa de otro pavimento o similares.

La parte superior de la estructura de confinamiento podrá sobresalir o estar a no más de 30 mm (3 cm) por debajo de la superficie del pavimento la parte inferior llegará hasta por lo menos 100 mm (10 cm) por debajo de la capa de arena.

La estructura de confinamiento se construirá antes de colocar la capa de rodadura. De no ser así se tendrá un cuidado especial para no perturbar los adoquines del borde, ni antes de, ni durante dicha actividad.

Cuando se construya cordones o bordillos vaciados o prefabricados y no vayan a tener ninguna estructura de soporte al lado contrario del pavimento, se le construirá un contrafuerte de concreto pobre que le ayude a contrarrestar el posible empuje y evitar su volcamiento.

Los resaltos tendrán una base en concreto de al menos 150 mm (15 cm) de espesor a la cual irán incorporados los adoquines como un recubrimiento firmemente adheridos. Se construirá primero la superficie completa sin el resalto y luego se levantará con cuidado los adoquines correspondientes y se excavará lo necesario para construir la base de concreto. Se tomará las medidas necesarias para que los resaltos no obstaculicen el flujo del agua por la superficie del pavimento.

## **Drenaje**

### **Drenaje Superficial**

Se asegurará el flujo de las aguas superficiales hacia las estructuras de drenaje mediante la disposición de pendientes adecuadas.

La pendiente transversal a uno o ambos lados de una vía será al menos del 3%

Cuando el área que se vaya a pavimentar tenga una sección diferente a la de una vía (parqueaderos, plazas, patios, etc.) la pendiente mínima será del 2% pudiendo disponer hacia uno o varios lados de dicha área o alternadamente formado quiebres.

Las pendientes de la superficie del pavimento conducirán el agua hacia quiebres o cunetas elaboradas con adoquines, concreto vaciado, o prefabricadas.

Si la pendiente longitudinal es menor del 2,5% se construirá cunetas a uno o ambos lados de la vía según el perfil transversal.

Las cunetas tendrán la misma estructura portante del resto del pavimento.

Se podrá utilizar como una pared de la cuneta el bordillo de confinamiento, siempre y cuando este sea debidamente estanco.

En el caso de construir cunetas con adoquines, la transición entre estas y la superficie del pavimento podrá ser continua, o escalonada en no más de 30 mm (3 cm).

Si la pendiente longitudinal es menor del 1 % las cunetas se construirán en concreto.

El diseñador determinará para la superficie del pavimento, unas cotas tales que, después de sellada y compactada, quede al menos 15 mm (1.5 cm) por encima del nivel de cualquier estructura existente dentro del pavimento (cunetas de concreto, sumideros, llaves transversales, etc.). El constructor tendrá especial cuidado con este requisito.

### **Drenaje subterráneo**

Se garantizará que el nivel freático esté al menos 400 mm (40 cm) por debajo de la cota de la subrasante, mediante la construcción de las estructuras de drenaje necesarias (filtros).

Cuando se tengan bases no drenantes o se coloque la capa de arena directamente sobre una superficie estanca, se construirá en la parte más baja del pavimento, por dentro de la capa de arena, un sistema de filtros que garantice la evacuación de agua que pueda penetrar a través de las juntas. Se podrá utilizar como filtro un cordón o mecha de material filtrante por donde pueda fluir el agua o un tubo metálico de aproximadamente 25 mm de diámetro (1") con perforaciones a los lados, envuelto en un material que impida el paso de la arena hacia el interior del mismo. Cualquiera que sea el tipo de filtro que construya se llevará a desaguar a la estructura de drenaje que reciba las aguas que van por la superficie.

Estos filtros se construirán además en la parte más baja o depresiones de las zonas adoquinadas, en el lado alto de las llaves o sumideros transversales, o cuando al empalmar con otro tipo de pavimento el de adoquines provenga de un nivel superior.

## CAPITULO VIII

### 8. PAVIMENTO RIGIDO

#### 8.1. Características generales

Las calzadas se pavimentan con una capa de hormigón de espesor uniforme, sobre una base o directamente sobre una subbase, la cual se apoya en el suelo natural o mejorado.

El objetivo de la pavimentación de las calzadas, es el de proporcionar una superficie adecuada al tránsito vehicular, esto es, tendiente a la seguridad, comodidad y disminución de los costos de operación y mantenimiento de los vehículos.

Para la determinación del ancho técnicamente conveniente para las calzadas, habrá que tomar en consideración los flujos de tránsito esperados, las velocidades medias, las condiciones previstas de comportamiento del tránsito y el ancho de calzada proporcionado por el plan regulador de la ciudad en cuestión.

Las pendientes transversales recomendadas para las calzadas son del 2% para las losas construidas en zonas cuya precipitación anual es inferior a 500 mm y del 2.5% en el otro caso. Como la Ciudad de Tarija es una zona húmeda, con una precipitación anual de aproximadamente 596 mm, adoptaremos una pendiente transversal del 3.0%.

Las pendientes longitudinales dependen del tipo de pavimento, de la velocidad de circulación y del tipo de vía, pudiendo variar, según el caso entre 0.35% como mínimo y 14% como máximo.

Las características climáticas y de drenaje, son fundamentales en este tipo de trabajos, refiriéndose a los cambios de temperatura, nivel de precipitación y a la facilidad de escurrimiento de las aguas tanto superficiales como subterráneas.

Los cambios en la temperatura ambiente originan variaciones a distintas profundidades en la losa. El gradiente de temperatura varía con las oscilaciones de la temperatura diaria y estacional provocando una desigual dilatación o contracción de la masa del hormigón según su distancia a la superficie de la misma, dando como resultado el alabeo de la losa.

Este movimiento está parcialmente impedido por el peso propio, fricción de apoyo y reacciones en los dispositivos de transmisión de cargas entre losas, lo cual provoca tensiones. El alabeo altera el régimen de contacto de la losa con la subrasante, pudiendo aumentar, por esta razón, las tensiones producidas por la acción de las cargas.

En verano durante el día se produce el máximo gradiente positivo. La losa se deforma arqueando los bordes hacia abajo. Durante la noche, especialmente de madrugada, ocurre lo contrario y la losa se deforma arqueando los bordes hacia arriba.

La temperatura media de la losa también cambia y provoca dilatación o contracción, al estar su movimiento restringido por el rozamiento con la subrasante o sub-base y la resistencia de las juntas, por lo que producen tensiones en el pavimento.

Por otra parte, el exceso de agua atrapada bajo el pavimento puede desarrollar grandes presiones de poros bajo la acción de las cargas pesadas, lo que trae como consecuencia flujos de aguas surgentes, con la consiguiente erosión de la fracción fina del suelo. Por esta razón es recomendable, en determinados casos, el uso de sub-bases altamente permeables con un dren longitudinal para permitir una rápida disipación de la presión de poros. Esta solución es adecuada cuando se tiene una infiltración de agua significativa y una subrasante poco permeable.

El diseño de las juntas forma parte integrante del diseño estructural de los pavimentos de hormigón ya que sus características (espaciamiento, tipo, dimensiones, etc.) son un factor importante a considerar con relación a las tensiones de la losa y a la durabilidad del pavimento. Se distinguen los siguientes tipos de juntas.

### **8.1.1 Juntas longitudinales**

Tienen como principal objetivo controlar la formación de grietas longitudinales que tienden a producirse debido a los efectos combinados de carga y alabeo.

Como elemento de transmisión de cargas se utiliza la interacción mecánica provocada por la traba de las caras de unión y la colocación de barras de acero con resaltes, que mantienen unidas las losas, actuando como elementos de articulación.

### **8.1.2 Juntas transversales de dilatación**

Es el elemento más débil del pavimento, y es allí donde con más frecuencia se presenta el fenómeno de “erosión por surgencia”.

Si se adoptan longitudes excesivas entre juntas de dilatación consecutivas, se produce una concentración de fatigas de tracción y compresión que pueden llegar a producir el colapso por efectos de pandeo.

Las juntas dejan de funcionar como tales, ya sea por que se ha introducido elementos extraños en ellas ó porque las juntas están muy distanciadas unas de otras.

La PCA (Portland Cement Association) recomienda proyectar juntas de dilatación cada 1.80 a 2.40 m con una separación de 2 a 2.5 cm si la losa se construye en tiempo frío ó si los áridos son de elevado coeficiente de dilatación. También se debe colocar este tipo de juntas en las uniones de pavimentos con estructuras independientes.

Por otro lado no se estiman necesarias sí:

- Los áridos pétreos del hormigón son de características normales de dilatación.
- Se coloca el hormigón en la época de temperaturas normales.
- Las juntas de contracción se proyectan a distancias relativamente cortas.
- Existe buena conservación de las juntas de contracción evitando introducción de arena ó gravilla en ellas.

### **8.1.3 Juntas transversales de contracción**

Tienen como función básica la de controlar la formación de grietas y o fisuras derivadas de la retracción del hormigón en su proceso de endurecimiento.

Estas juntas controlan además el efecto del alabeo. Cuando la losa se contrae uniformemente por una disminución de su temperatura media ó de su contenido de humedad, aparecen, por roce con la subrasante, tensiones de tracción. Colocando juntas transversales a distancias apropiadas, estas tensiones quedan reducidas a límites admisibles. En el caso de alabeo la junta actúa como una articulación imperfecta, reduciendo así la luz libre de flexión.

Considerando que no se han proyectado juntas de dilatación ó que se tiende a separarlas excesivamente se deben considerar juntas de contracción y alabeo a poca distancia.

En general, el distanciamiento recomendado, para pavimentos sin armar y sin barras de traspaso de cargas, es de 4 a 6 m.

#### **8.1.4 Juntas transversales de construcción**

Cuando se ejecute una interrupción planificada de la pavimentación, esta se hará en lugares de coincidencia con una junta de contracción, colocándose barras de traspaso de carga.

En caso de que se produzca una junta transversal de construcción de emergencia o no planificada, es importante asegurar la unión entre las dos caras de la junta, para lo cual se colocarán barras de las mismas características que para las juntas longitudinales.

### **8.2. CAPAS DE PAVIMENTO RIGIDO**

El pavimento rígido considerado en el proyecto, esta compuesto de las siguientes capas:

#### **Subrasante**

Como consecuencia de su rigidez, el pavimento de hormigón tiene considerable resistencia de flexión denominada también de viga y alta capacidad para distribuir las cargas. Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

Por esta razón puede esperarse un buen comportamiento del pavimento urbano para tránsito no pesado construido sobre el suelo del lugar.

Para asegurar el comportamiento satisfactorio del pavimento de hormigón, es necesario que el suelo de la subrasante posea características y densidad uniformes, es decir, soporte uniforme. En las superficies inestables que aparecen durante la construcción, debe excavarse el material y reemplazarse por otro del mismo tipo del de las zonas adyacentes, compactado a similar densidad. Es por tanto equivocado el criterio de llenar los baches de áreas débiles con material granular de mejor calidad que el adyacente, porque de este modo se atenta contra el soporte uniforme que necesita el pavimento de hormigón.

Con una razonable uniformidad de la subrasante y previniendo los cambios volumétricos excesivos de los suelos expansivos con un cuidadoso control de la humedad y densidad durante la compactación, se logra una superficie adecuada para asiento del pavimento.

La compactación de los suelos expansivos con humedades iguales o ligeramente superiores a la óptima, controlará efectivamente sus cambios volumétricos, aún en lugares de extensos

periodos de tiempo seco, siempre que se evite el secado de esos suelos, antes de construir el pavimento.

Debe merecer especial cuidado, la compactación de los rellenos de zanjas abiertas para la instalación de conductos de servicios públicos y en las cercanías de estructuras nuevas ó existentes.

Los pavimentos de calles de los sistemas de tránsito general y arterial mayor que soportarán un tránsito frecuente de camiones pesados, deberán asentarse sobre sub-bases, con el fin de prevenir el bombeo de los suelos finos de la subrasante.

El diseño de las sub-bases, en caso de ser necesarias será diseñado y construidas con los mismos cuidados que el pavimento de hormigón.

Para fines prácticos, se proponen las siguientes categorías de subrasantes.

Categoría Subrasante	Clasificación de suelos		Características del suelo	
	U.S.C.S.	AASHTO	CBR(%)	K (kg/cm <sup>3</sup> )
<b>A) Muy buena</b>	GW, GP, GM, GC	A1-a, A1-b	> 25	> 8
<b>B) Buena</b>	SC, SM	A2-6, A2-7	6 – 25	4 – 8
<b>C) Deficiente</b>	MI, CL, MH, CH, OH, OL	A-5, A-6, A7-5, A7-6	2 - 6	2 – 4

Tabla 8.1. CATEGORIA DE SUBRASANTES

### Sub - base

Los suelos aptos para constituir esta capa son las gravas, gravas-arenosas, arenas y suelos similares. En la construcción de sub-bases granulares, se recomienda adoptar la siguiente especificación granulométrica.

TAMICES EMPLEADOS	% EN PESO QUE PASA SEGÚN TAMAÑO MAXIMO	
	2" (50mm)	1" (25mm)
ASTM		
2"	100	-
1"	55-100	100
3/8"	40-70	60-100
No. 4	35-65	50-80
No. 10	20-50	30-60
No. 40	10-30	10-35
No. 200	0-15	0-15

### 8.3 RECOMENDACIONES PARA SUB-BASES

El tamaño máximo admitido para el material de sub-base es de 2". Debemos indicar que el banco de material existente sobre el río Guadalquivir reúne algunas de las condiciones y limitaciones antes indicadas. Debido a que este material no contiene el ligante necesario, se debe aumentar una proporción de arcilla en un 10 % a 15 %.

#### **Carpeta de concreto**

Consiste de una losa de hormigón hecha en sitio, del espesor que determine el diseño, dicha losa esta dividida mediante juntas longitudinales, juntas transversales de contracción y juntas transversales de dilatación.

Así mismo, la losa de hormigón debe tener pendientes longitudinales de acuerdo al perfil de la rasante y pendientes transversales para un mejor escurrimiento del agua. De acuerdo a la experiencia y a las construcciones realizadas en diferentes Ciudades (por ejemplo Bermejo), tomaremos como pendiente transversal el 3 %.

El hormigón debe ser de buena calidad, homogéneo, uniforme y no segregable, además de que su consistencia debe estar entre 2" y 3", ya que de esta manera se evita el rápido desgaste de la losa, producto del tráfico existente.

#### **Materiales**

Los materiales áridos a usar provendrán de bancos existentes tanto en el río Guadalquivir de Tarija, dichos bancos cuentan con los ensayos suficientes para certificar su buena

calidad. El cemento a usar será proveniente de la fábrica de cemento “El Puente”, ubicado en el municipio del Puente en el Dpto. de Tarija.

#### - **Cemento**

Los cementos son los conglomerantes hidráulicos más importantes, que amasados con el agua fraguan y endurecen, tanto expuestos al aire, como sumergidos en agua.

Las características físicas y mecánicas más importantes son:

**a) Finura del molido.-** Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0.01 mm por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.

Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que en general resulta perjudicial) el conglomerante resulta ser mas susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado; y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. Por lo tanto las resistencias mecánicas aumentan con la finura y se llega a una situación de compromiso: “el cemento Portland debe estar finamente molido pero no en exceso”

**b) Peso Específico.-** El peso específico real varía muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 3 y 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. La limitación establecida por algunas normas (igual o superior a 3) se cumple prácticamente siempre.

En nuestro caso se utilizará Cemento “El Puente” de fabricación local (Fabrica en la localidad de El Puente — Dpto. de Tarija), el mismo que, de acuerdo a diversos ensayos realizados, tiene un peso específico de 3.15 gr/cm<sup>3</sup>.

**c) Fraguado.-** La velocidad de fraguado de un cemento viene limitada por las normas estableciendo un periodo de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual deben producirse el principio y el fin del fraguado. Ambos conceptos se definen de un modo convencional mediante la aguja de Vicat, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento sin solución de continuidad.

Para obras de pavimentos de hormigón ejecutadas en verano conviene utilizar cementos cuyo principio de fraguado, en ensayo efectuado a 30 °C, tenga lugar no antes de una hora.

El fraguado es tanto mas corto y rápido en su comienzo cuanto más elevada es la finura del Cemento.

**d) Expansión.-** Puede medirse por el método de autoclave, o por el método de las agujas de Le Chatelier, de origen francés.

El ensayo de autoclave es un ensayo acelerado que, al combinar presión con temperatura, pone de manifiesto a corto plazo el carácter más o menos expansivo que tendrá un cemento a largo plazo debido a la existencia de magnesia o de cal libre en exceso. Si el cemento presenta una expansión en autoclave inferior al 0.8 % puede asegurarse que no será expansivo en obra.

**e) Resistencias Mecánicas.-** Como resistencia de un cemento se entiende la de un mortero normalizado, amasado con arena de granulometría determinada y con relación agua-cemento igual a 0.5.

#### - Grava

La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos productos del machaqueo.

Las buenas calizas no son rayadas por la navaja, la cual deja tan solo un ligero trazo sobre su superficie (densidad mayor de 2.6 y resistencia mayor de 1000 kp/cm<sup>2</sup>). Las que son rayadas por el latón (densidad menor de 2.3 y resistencia menor de 500 kp/cm<sup>2</sup>) caen fuera de lo admisible. Entre ambas se colocan las que no son rayadas por el bronce. En todos los casos debe realizarse la prueba sobre una superficie plana y con el material totalmente seco. La grava a usar en la obra, será proveniente del banco existente sobre el Río Guadalquivir de Tarija, el mismo que de acuerdo a los ensayos existentes cumplen con los requerimientos técnicos exigidos para este tipo de obras. El tamaño máximo del árido grueso será de 1 ½”.

La grava chancada es un material óptimo para realizar hormigones, pero por no existir en la región máquinas chancadoras, nos limitaremos a usar la grava natural previamente seleccionada y lavada del banco mencionado.

#### - Arena

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

Las mejores arenas son las de río ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad. La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón armado, previo lavado con agua dulce.

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

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

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

La arena a usar en la obra provendrá de los bancos existentes en los ríos Guadalquivir de Tarija, los mismos que cumplen con las normas y exigencias técnicas, existentes para el efecto. Dicho material será correctamente seleccionado y lavado para su uso en obra.

#### **- Agua**

El agua de amasado juega un doble papel en el hormigón. Por otro lado participa en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón (capilares) que disminuyen su resistencia; pero, por otra parte, no puede disminuirse excesivamente el contenido de agua, pues podría obtenerse masas poco trabajables y de difícil colocación en obra. Se puede decir que cada litro de agua de amasado añadido de más a un hormigón equivale a una disminución de dos kilogramos de Cemento.

El agua de curado, factor fundamental durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del hormigón, tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento e impedir una retracción prematura.

En general se debe ser más estricto con el agua de curado que con el agua de amasado. Mucho más peligroso es el agua que recibe el hormigón cuando está endureciendo, porque las reacciones que puede originar ya no actúan sobre una masa en estado plástico. Además, la aportación de sustancias perjudiciales en el agua de amasado es limitada en cantidad y se produce de una sola vez, sin renovación mientras que la aportación de agua de curado es mucho más amplia y de actuación más duradera.

No conviene emplear aguas cuyo pH sea inferior a 5, ni las que contengan aceites, grasas o hidratos de carbono. Cuando el agua contenga materias sólidas en suspensión (limos o arcillas) debe prohibirse su empleo, ya que esos finos disminuyen notablemente la adherencia pasta-árido

Por lo general, las normas obligan a analizar el agua, solamente cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda.

El agua a usar en el amasado y curado del hormigón, provendrá del distribuido por COSAALT, que es la Entidad encargada de la distribución de agua potable a la ciudad de Tarija que dicho de paso la principal fuente de aporte, precisamente proviene de inmediaciones del cantón del Rincón de la Victoria zona involucrada en el presente estudio.

#### **8.4 METODOS DE ECUACIONES DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO**

Son muchos y muy diferentes los métodos que existen para proyectar el espesor de pavimento. Sin embargo, el problema es bastante complejo y su estudio bastante reciente como para que se pueda haber llegado a un método que sea tan seguro y de una aceptación tan general como los métodos de proyecto que se emplean en otras ramas de la ingeniería.

En términos generales, se puede decir que se pueda tener en cada uno de ellos depende de la cantidad de comprobaciones experimentales a que hayan sido sometidos. Por otro lado, cada uno de los métodos que existen para proyectar el espesor de un pavimento exige una suficiente cantidad de experiencia y de sentido común por parte de quien los aplica.

Los datos del tráfico vehicular han sido obtenidos de aforos realizados al ingreso actual del parqueo vehicular actual.

Para efectos del diseño del espesor del pavimento existe diferentes métodos de diseño, como los siguientes:

- Diseño de espesores usando el método de Westergaard
- Cálculo de la carpeta de concreto procedimiento del Instituto del Cemento Portland Argentino.
- Diseño por el método AASHTO.
- Diseño por el método de las diferencias finitas.

Para el diseño del proyecto en cuestión utilizaremos el método de Westergaard, y para efectos de comparación, el Cálculo de la carpeta de concreto procedimiento del Instituto del Cemento Portland Argentino.

## 8.5 METODO DE WESTERGAARD

Desde 1926, este profesor americano ha demostrado que se podía estudiar las deformaciones de losas de hormigón apoyadas sobre un suelo deformable formulando la hipótesis de proporcionalidad, en cada punto, entre la reacción del suelo y su asiento. Si un elemento, de la hoja media de la losa se desplaza verticalmente una cantidad  $W$ , esta hipótesis llamada de Westergaard tiene la relación siguiente: (8.1)

$$p = k * w$$

Siendo:

$p$  = Reacción del suelo

$K$  = Coeficiente de proporcionalidad llamado  
Módulo de reacción

El suelo es comparable a un líquido muy denso o también a un conjunto de resortes. Se puede decir que el método de Westergaard da la solución exacta al problema del paso de una carga sobre un río congelado.

Westergaard considera tres casos separados, que se diferencian por la situación de la carga respecto al borde de la losa:

Carga aplicada en el ángulo de una losa grande (carga en esquina)

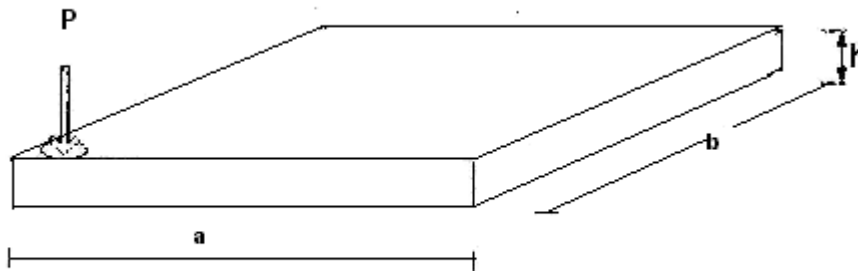


figura (8,1)

Con una carga aplicada en el ángulo de una losa, la tensión crítica en el hormigón es la de tracción en la cara superior de la losa.

Tomando en cuenta la reacción del terreno y considerando además que la carga se aplica con una superficie de contacto de radio a, Westergaard obtiene la siguiente expresión, para la tracción crítica en la cara superior de la losa, que se produce a una distancia  $a\sqrt{2}$  de su vértice:

$$(f_t)_{adm} = \frac{3 * P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{a * \sqrt{2}}{L} \right)^{0,6} \right] \dots\dots\dots(8,2)$$

donde:

$$L = \sqrt[4]{\frac{E^* h^2}{12^* (1 - \mu^2)^* K}}$$

..... (8,3)

L = Radio de rigidez, relativa en cm

P = Carga concentrada en kg.

h = Espesor de la losa en cm

$\mu$  = Módulo de Poisson para el hormigón

K = Módulo de reacción de la subrasante en kg/cm<sup>3</sup>

a = Radio del círculo sobre el que la carga P se supone uniformemente repartida

El valor de L indica la rigidez relativa de la losa y el terreno.

Será grande para una losa rígida sobre una base elástica y pequeño en el caso contrario.

Carga aplicada a una distancia considerable de los bordes de una losa (carga centrada)

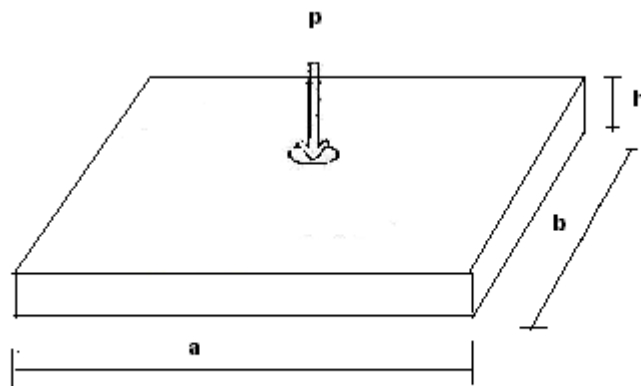


figura (7,2)

Si la carga se aplica a cierta distancia de los bordes de una losa, la tensión crítica en el hormigón será la tracción en su cara inferior. Esta tracción es máxima directamente bajo el centro de la superficie cargada y viene dada por la expresión siguiente:

$$(f_t)_{adm} = 0.275^{(1+\mu)} \frac{P}{h^2} * \log \left( \frac{E * h^3}{K * b^4} \right) \dots\dots\dots(8,4)$$

Siendo: E = Módulo de elasticidad del hormigón en kg./cm<sup>2</sup>

$$b = \sqrt{1,60 * a^2 + h^2} - 0,675 * h \quad \text{si } a < 1.724 * h \quad \dots\dots (8,5)$$

$$b = a \quad \text{sí } a > 1.724 * h$$

Carga en un borde de la losa, pero a distancia considerable de los ángulos

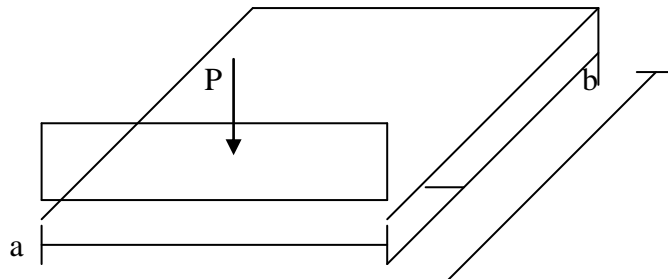


Figura (8,3)

Cuando la carga está aplicada en un punto del borde de la losa, la tensión de tracción crítica se produce en la cara inferior del hormigón directamente bajo la carga y tiene el siguiente valor:

$$(f_t)_{adm} = 0,529 * (1 + 0,54 * \mu) * \frac{P}{h^2} * \left[ \log\left(\frac{E * h^3}{K * b^4}\right) - 0,71 \right] \dots\dots (8,6)$$

Con la nomenclatura indicada anteriormente.

En el caso de que la tensión de tracción por flexión (flexotracción) en la losa dada por las ecuaciones anteriores supere las tensiones de tracción por flexión admisibles en el hormigón, es necesario aumentar el espesor de la losa o prever armadura. Esta armadura se proyecta usualmente para absorber toda la tracción indicada por el estudio de la losa supuesta, homogénea y elástica. Su centro de gravedad no debe estar más próximo a la fibra neutra que el hormigón de tracción al que sustituye.

La tensión de tracción admisible en el hormigón, de acuerdo al Código Boliviano del hormigón CBH - 87 tiene el siguiente valor:

$$f = 0.30 * (f_{ck})^{2/3} \dots\dots\dots (8,7)$$

Donde  $f_{ck}$  es la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días en Mpa.

Pero la tensión de tracción se asume como el 60% de la tensión por flexotracción, despejando esta última tenemos que:

$$(f_t)_{adm} = f_t / 0.60 \dots\dots\dots(8,8)$$

Donde  $(f_t)_{adm}$  es la tensión admisible por flexotracción del hormigón en MPA.

## CAPITULO IX

### 9. INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS

#### 9.1. ALUMBRADO

Uno de los factores esenciales para la adecuada utilización de un parque, plaza, estacionamiento, carretera o calle lo constituye la iluminación. Parece ser que existe una relación directa entre el grado de iluminación y la seguridad de los vehículos.

La experiencia de los ingleses en iluminación ha demostrado que los dispositivos de alumbrado colocados de tal forma que la relación separación / altura sea de 3/1 o incluso 4/1 proporciona una iluminación adecuada

Para la explotación de la iluminación en plazas, establecen que el nivel de intensidad luminosa en esta zona ha de ser 50 lúmenes/m<sup>2</sup>, en zonas de circulación de vehículos y peatones, de 100 lúmenes / m<sup>2</sup>

Llamaremos en general, iluminación de exteriores, a toda extensión descubierta de terreno; comprenderá por tanto, el alumbrado público de calles y plazas urbanas y además, el alumbrado de campos deportivos, estaciones, patios de fábricas, etc.

Para el cálculo de la iluminación de exteriores, se sigue generalmente el procedimiento denominado el punto por punto. Como sabemos, este método solo puede utilizarse cuando carece de importancia la iluminación adicional producida por efectos de reflexión; que es precisamente el caso de la iluminación de exteriores donde por regla general las reflexiones que se producen sobre las superficies que se han de iluminar son tan pequeñas que pueden considerarse nulas.

Para el proyecto en la instalación de iluminación, hemos de tener en cuenta estos cuatro puntos esenciales:

- Intensidad de Iluminación
- Características de las lámparas
- Características de los aparatos de alumbrado
- Altura y separación

En la zona comprendida por el proyecto, la iluminación debe ser lo más uniforme posible y, como mínimo, del mismo valor que el de las vías de acceso; para conseguir la fácil maniobra de los vehículos, el emplazamiento de los soportes debe estudiarse de modo que no impidan ni estorben esta maniobra.

### 9.1.1 Requisitos fotométricos

La aplicación de la nueva edición CIE N° 115-2010, que tiene en cuenta varios parámetros relacionados con el tráfico y la configuración de la carretera, nos conduce a clasificar una carretera principal como M3 ó M4.

Los valores de los criterios de iluminación que hay que respetar son los siguientes:

**Clase M3**     $L_{med} = 1,0 \text{ cd/m}^2$      $U_o \geq 0,4$      $U_I \geq 0,6$      $TI \leq 15\%$      $SR \geq 0,5$

**Clase M4**     $L_{med} = 0,75 \text{ cd/m}^2$      $U_o \geq 0,4$      $U_I \geq 0,6$      $TI \leq 15\%$      $SR \geq 0,5$

### 9.1.2 Fuentes de luz

La reproducción cromática tiene menos importancia en la iluminación de áreas comerciales y zonas peatonales en los centros de las ciudades.

Por tanto, las lámparas de sodio alta presión se usan ampliamente para este tipo de carreteras (en algunos países -Bélgica por ejemplo- también se usan las lámparas de sodio baja presión).

Sin embargo, también puede seleccionarse la luz blanca cuando se da más importancia a una mejor reproducción cromática, en particular en áreas más próximas a las ciudades. Luego, las lámparas de halogenuros metálicos podrían ser una opción, pero es también posible el uso de luminarias LED.

Este tipo de fuente de luz necesita poco mantenimiento debido a su muy larga vida.

### **9.1.3 Luminarias**

Las luminarias elegidas para iluminar carreteras principales deberían tener un alto nivel de hermeticidad (al menos IP 66), a fin de mantener las prestaciones iniciales el máximo tiempo posible durante toda la vida de la instalación.

La resistencia a los impactos mecánicos debe corresponder por lo menos al grado IK 08, en línea con la norma IEC 62262.

Estas luminarias cumplirán preferentemente con la Etiqueta La Luz Verde según lo definido por Schröder.

### **9.1.4 Esquema de instalación**

Cuando la anchura de la mediana entre las dos carreteras no supera los 10 m, el esquema de instalación más apropiado consiste en instalar las columnas de iluminación en el eje de esta mediana. Cada columna sostendrá 2 luminarias, cada una orientada hacia su carril.

La altura de las columnas depende en primer lugar de la anchura total de las carreteras junto con el espacio de las luminarias desde el borde de la carretera. La altura de montaje de las luminarias es en general de 12 m o más.

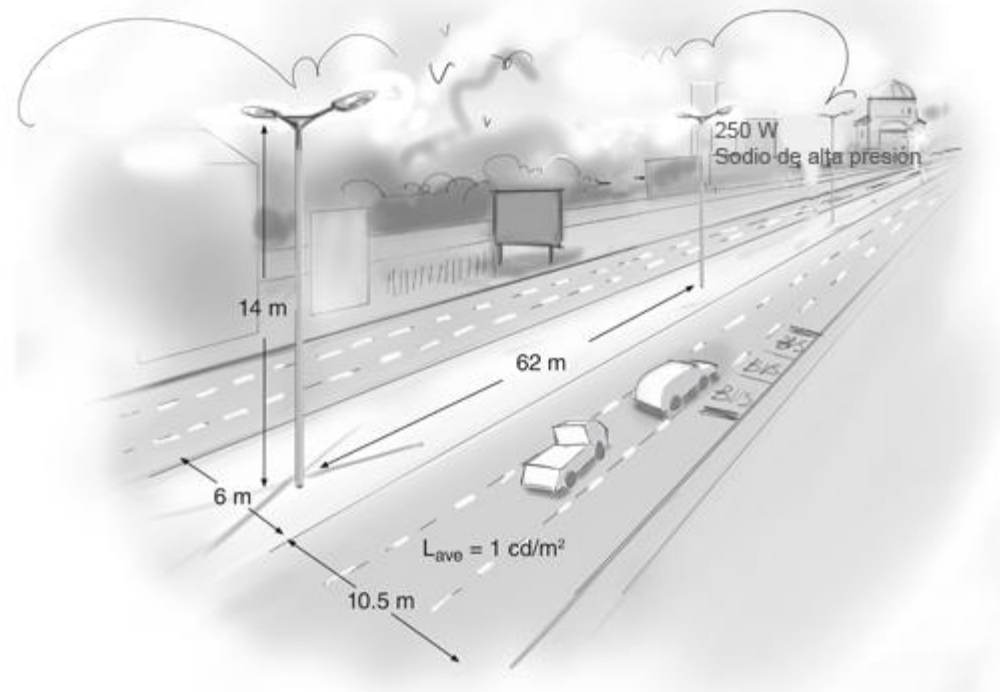
Cuando la mediana es demasiado ancha (más de 10 m), se logra una solución más eficiente con dos filas de columnas en una configuración enfrentada, dentro de la mediana o a lo largo de la línea de demarcación externa de cada carretera.

La eficacia y el aspecto funcional de la instalación de iluminación tienen mucha importancia. El aspecto estético puede mantenerse, sin embargo, usando luminarias funcionales bien diseñadas. La facilidad de las operaciones de mantenimiento (sustitución de lámparas) es importante para reducir los costes de mantenimiento.

La instalación de la iluminación será energéticamente eficiente, con un valor de SLEEC-L (Basado en la Luminancia del Criterio de Eficiencia Energética de Alumbrado de Calles) equivalente a un máximo de  $0,8 \text{ W/m}^2/\text{cd/m}^2$ .

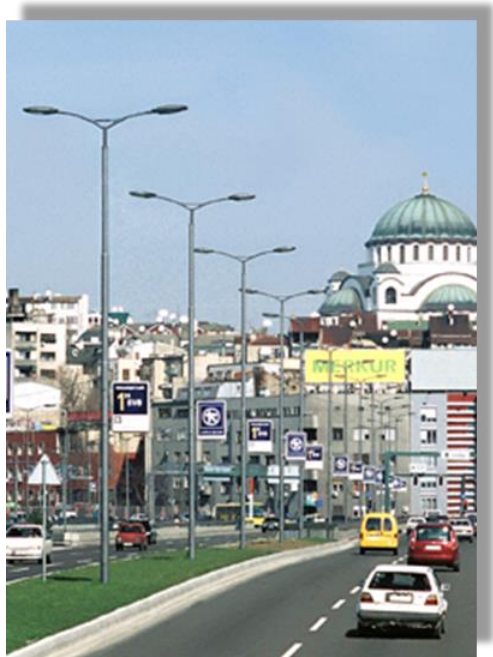
Un conocimiento exacto de las características de reflexión de la luz de la superficie de la carretera tiene mucha importancia para cumplir con el susodicho criterio de eficiencia. Estas características pueden ser medidas con nuestro exclusivo sistema conocido como Memphis.

El siguiente dibujo muestra una instalación típica para una carretera principal.



### 9.1.5 Ejemplos de instalaciones de iluminación para carreteras principales

Sección de carretera principal con 2 calzadas de 3 carriles de tráfico, instalación de iluminación central (columnas a lo largo del eje de una mediana de 6 m de ancho) de luminarias FURYO 3 fijadas en columnas de 14 m de alto con un espaciado de 62 m. Las luminarias Furyo 3 están equipadas con lámparas de sodio alta presión de 250 W para proporcionar resultados de luminancia que cumplen con los requisitos de la clase de carretera M3 ( $1 \text{ cd/m}^2$ ).



Sección de carretera principal con 2 calzadas de 2 carriles de tráfico, instalación de iluminación central de luminarias AMBAR 3 fijadas en columnas de 12 m de alto con un espaciado de 50 m. Las luminarias Ambar 3 están equipadas con lámparas de sodio alta presión de 150 W para proporcionar resultados de luminancia que cumplen con los requisitos de la clase de carretera M3 (1cd/m<sup>2</sup>).







## 9.2 SEÑALIZACION

El usuario de la calle o carretera desconoce generalmente cómo funciona el sistema de señalización y como puede ubicar por ejemplo la plaza de la comunidad de La Victoria. Con tal motivo es necesario establecer un sistema adecuado de señalización que indique donde existe una plaza, un hospital, centro policial, etc. y posteriormente como encontrar salidas alternativas de la Comunidad. El sistema de señalización puede ser fijo o variable, interesando siempre que sea lo suficientemente flexible para adaptarse a las puntas de funcionamiento.

La señalización mediante marcas viales en el pavimento, resulta imprescindible para señalar sentidos de circulación. También se utiliza para delimitar la separación de zonas de distinto uso, como pueden ser las calles de peatones, en cuyo caso conviene que resalten de forma clara, para lo que se pueden pintar de colores que contrasten.

En los centros poblados es importante una señalización de orientación para ubicar a los interesados en relación a centros públicos. Para ello a continuación se detalla de manera gráfica los distintos tipos de señalización vertical.

## 9.2.1 TIPOS DE SEÑALIZACION VIAL

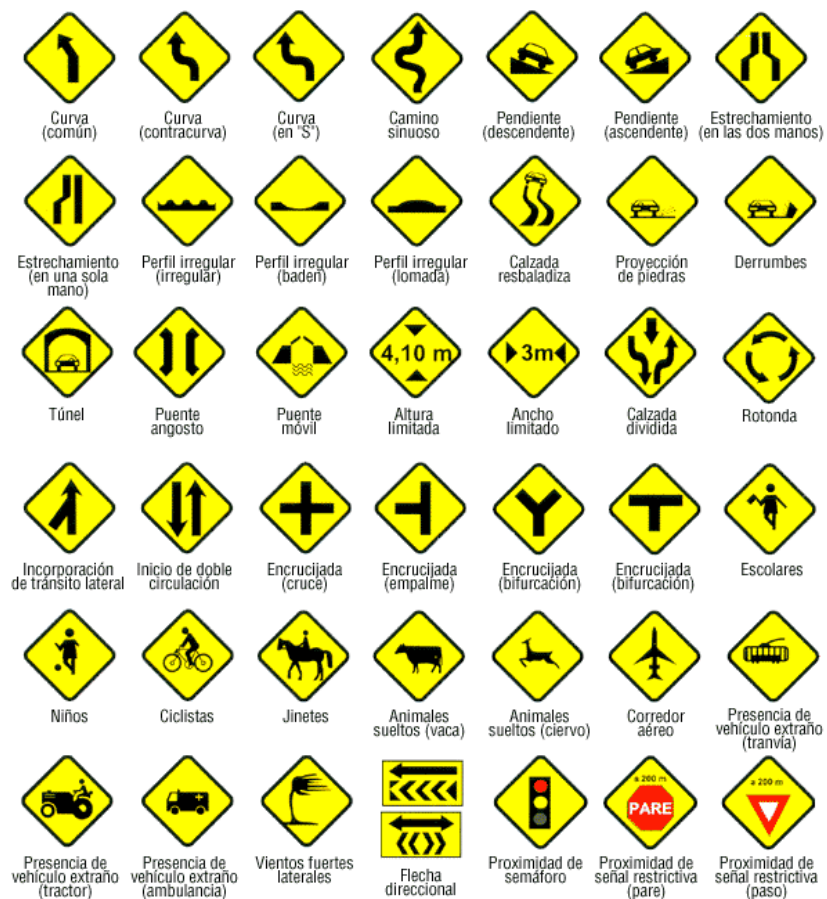
### 9.2.1.1 PELIGRO



### 9.2.1.2 INFORMATIVA



### 9.2.1.3 PREVENCIÓN



### 9.2.1.4 PROHIBICIÓN



### 9.2.1.5 RESTRICCIÓN



### 9.2.1.6 TRANSITORIAS



### 9.3 DESAGUES Y DRENAJES

El problema de desague y drenaje de las aguas superficiales no solo suele ser un problema en las calles, sino en todas las infraestructuras viales, motivo por el cual el estudio prevé tomar en cuenta a detalle estos aspectos a fin de contar con un sistema de drenaje óptimo y acorde a las necesidades de la zona. El agua a desaguar puede provenir de los vehículos, o

de lluvia si se trata de áreas abiertos como de la plaza y sus accesos. Al ser pequeñas las cantidades a drenar es suficiente un sistema de desague superficial, estableciendo pendientes longitudinales y transversales suficientes, con bocas y sumideros que pueden desaguar a grandes distancias.

De la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra, una parte se escurre inmediatamente, reuniéndose en corrientes de agua; otra se evapora y el resto se infiltra en el terreno. Si no se dispone de los elementos necesarios para desviarla o conducirla, puede ocasionar inundación de la calzada, el debilitamiento de la estructura del pavimento, la erosión e inclusive el derrumbe con graves perjuicios para los usuarios de la vía y de la economía en cuestión.

Los factores que intervienen en el estudio de los drenajes son la Topografía, la Geología y la capa de rodadura de la zona, como también variadas son las ramas de la ingeniería que participan en la solución de estos problemas como ser la Estadística, la Hidrología, la Hidráulica, el diseño estructural, etc.

Muchos de estos aspectos varían mucho de un lugar a otro. Es de conocimiento que todas las técnicas aplicadas a ingeniería de vías, el problema fundamental es el de drenaje, factor determinante de su diseño y ejecución, por lo cual se estudia considerablemente el drenaje superficial. Para nuestro proyecto se considera como mínimo una pendiente del 1,5 al 3 % a efectos de drenaje, dando la dirección de las pendientes hacia los colectores que recogen las aguas.

### **9.3.1 Cálculo del Caudal del Proyecto**

#### **9.3.1.1 Método Racional para la relación lluvia escurriéntia**

El método de cálculo a adoptar, denominado Método Racional, deriva de la ecuación racional siguiente:

$$Q = C * I * A$$

En la cual:

- Q = Caudal que escurre superficialmente en l/seg. ó m<sup>3</sup>/seg.
- C = Coeficiente adimensional de escurrimiento superficial que depende de las características físicas de la cuenca.
- I = Intensidad media de la lluvia en l/seg./Ha.
- A = Área de la cuenca en Ha.

El método racional tiene como concepto básico que el caudal máximo Q (caudal de proyecto) para una pequeña cuenca de drenaje ocurre cuando toda la cuenca esta contribuyendo y que este es una fracción de la precipitación media bajo las siguientes hipótesis:

- a) El caudal máximo Q en cualquier punto, es una función directa de la intensidad media de la lluvia I, durante el tiempo de concentración para aquel punto.
- b) La frecuencia del caudal máximo es la misma que la frecuencia media de la lluvia.
- c) El tiempo de concentración esta implícito en la determinación de la intensidad media de lluvia y en vista de las estipulaciones antes mencionadas; así el tiempo de concentración es igual al tiempo de duración de la lluvia.

La ecuación de lluvias a emplear en la elaboración del proyecto deberá ajustarse las condiciones de cada localidad o centros urbanos.

### 9.3.1.2 Ecuación Intensidad

La ecuación intensidad tiene, frecuencia duración en forma generalizada, tiene la expresión siguiente:

$$I = \frac{c * f^m}{t^n}$$

Donde los valores de c, m y n corresponden a las características regionales de la precipitación, para el valle central de Tarija los valores están estandarizados y la ecuación es la siguiente:

$$I = \frac{197.2 * F^{0.1457}}{(t+3)^{0.443}}$$

Donde

F = frecuencia en años.

I = Intensidad en mm./hora.

t = tiempo de concentración en minutos.

### 9.3.1.3 Coeficiente de escurrimiento superficial

Valores basados en las características detalladas de superficie

Pavimentos C = 0.8 a 0.95

Jardines: C = 0.1 a 0.25

En el proyecto el área esta compuesta por las superficies siguientes:

Pavimentos	85 %
Área verde	15 %

En consecuencia, el coeficiente de escurrimiento es:

Pavimentos	$0,85 * 0.825 = 0.70$
Área verde	$0.15 * 0.25 = 0.04$
Total	$= 0.74$

Luego:  $C = 0.74$

Tomando las precipitaciones anuales más altas se tiene una frecuencia

$$F = 24 \text{ años}$$

Sustituyendo en ecuación (9,3) considerando  $t = 10 \text{ min}$  por tratarse de una superficie plana; se tiene Intensidad  $I = 100,58 \text{ mm/h}$

Luego sustituyendo en ecuación racional:

$$Q = 2.78 * C * I * A$$

Se tiene en el tramo 1-5  $Q = 57.94 \text{ l / seg}$

Definida la pendiente de proyecto,  $S = 0.3 \%$  se adopta una velocidad mínima de 0,75m/seg para pendientes bajas y velocidad máxima de 5,00 m/seg para pendientes fuertes de acuerdo a norma Boliviana el diámetro mínimo establecido es 200 mm.

Sabiendo que  $n = 0,013$  coeficiente de rugosidad y a través de Manning

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

Sustituyendo valores se obtiene una velocidad de 0.57 m / seg < 0.60 m/seg velocidad de autolimpieza, en tal virtud no tomamos el diametro de 200 mm. por consiguiente asumimos otro.

Con  $D = 300$  mm. Se obtiene una velocidad  $V = 0,75$  m/seg lo que indica la norma Boliviana.

Seguidamente calculamos el tiempo de recorrido en la tubería con:

$$t = \frac{L}{V}$$

**y se tiene:**

$$t = 0,94 \text{ min.}$$

De la misma forma se calcula en todos los tramos definidos en el proyecto y como resultado se establecen los caudales, velocidades, diámetros, etc. para el diseño.

El diámetro obtenido es a tubo lleno, sin embargo en alcantarillado pluvial consideramos que el tirante debe estar a 2/3 de diámetro (tubo parcialmente lleno), en tal virtud,

realizando cálculos utilizando ábaco y el diagrama de elementos hidráulicos de una sección circular funcionando parcialmente llena) se tiene:

Con  $D = 400$ ;  $d = 2/3 * 400 = 0,27$  mt; luego:

$d/D = 0,27/0,40 = 0,68$  con este dato vamos a ábaco (5,2)

y se obtiene  $q / Q = 0,82$  y  $v / V = 1,12$

Calculamos la velocidad en tubo de  $D = 400$ mm.

$$v = 1,12 * 0,75 \text{ m/seg} = 0,84 \text{ m/seg}$$

y los caudales respectivos en cada tramo serán:

$$q_1 = 0,84 * 57,94 = 48,67 \text{ l/seg}$$

$$q_2 = 0,84 * 160,26 = 134,62 \text{ l/seg}$$

$$q_3 = 0,84 * 97,25 = 81,69 \text{ l/seg}$$

$$q_4 = 0,84 * 6,21 = 5,22 \text{ l/seg}$$

$$q_5 = 0,84 * 156,35 = 131,33 \text{ l/seg}$$

Como se puede observar en tabla el diámetro de diseño es  $D = 400$  mm. a tubo parcialmente lleno para todos los tramos.

## **CAPITULO X**

### **10 ASPECTO FINANCIERO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES AL PROYECTO.**

#### **10.1 Presupuesto general y comparación económica entre pavimento articulado y Pavimento rígido.**

## **10.2. Cronograma de ejecución**

### **10.3. Análisis de precios unitarios**

## 10.4. Cómputos Métricos

## **10.5 Especificaciones Técnicas**

## 10.6 Condiciones Técnicas

## CAPITULO XI

### 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 11.1. - Conclusiones generales

El avance de la tecnología del concreto hidráulico nos lleva a observar comportamientos de este material que hace algunos años atrás, parecían imposibles, tal el caso de los concretos de alta resistencia. Actualmente se efectúan investigaciones para mejorar la ductilidad del concreto a través de la aplicación de materiales, como fibras de vidrio, carbón o acero, etc.

Asimismo los pavimentos de adoquín han regresado triunfalmente ahora con avanzada tecnología del concreto, las nuevas piezas que forman ese pavimento, tienen alta resistencia, formas y colores agradables que permiten hacer el más hermoso pavimento de estos tiempos. Estas piezas de pavimento prefabricadas deben cumplir con varios requisitos geométricos y de resistencia, como: muestreo, forma, dimensiones, color, textura y resistencia a varios esfuerzos.

Analizando los métodos de diseño considerados en este proyecto podemos clasificarlos de la siguiente manera:

#### 11.2 Pavimento rígido:

El método Westergaard es un método semiempírico el mismo que necesita de cálculos que lo hacen a este método reacio al uso por parte de los profesionales en el ramo del diseño de paquetes estructurales.

El cálculo de la carpeta de concreto por el procedimiento del instituto del cemento portland argentino es bastante práctico por cuanto utilizando datos proporcionados y ábacos predispuestos se llega a resultados bastante cercanos al anterior lo cual hace que se pueda beneficiar economizando el tiempo y en estos

últimos tiempos con el avance de la tecnología, existen varios programas estructurales para ser aplicados y poder inclusive realizar las comparaciones.

### **11.3 Pavimento articulado:**

El método del diseño simplificado es considerado como de pavimento flexible y sencillamente utiliza cuadros preestablecidos para obtener el espesor de la estructura del pavimento.

El cálculo a través del índice de grupos es aún más elemental y práctico puesto que con resultados obtenidos en laboratorio, directamente con el uso de una fórmula podemos expresar el espesor del pavimento, en este caso adecuándonos al pavimento articulado o adoquinado.

Sin embargo podemos manifestar que en la actualidad cualquier que sea el método con el adelanto de la tecnología y la computación se hace simple el cálculo y fácil la programación y con resultados mucho más exactos.

### **11.4 Conclusiones Técnicas**

Uno de los objetivos de este proyecto, a parte de las demás mencionadas a un principio es fundamentar que el pavimento articulado tiene con seguridad:

#### **11.4.1 Resistencia al Desgaste**

La resistencia al desgaste, se logra al usar un agregado adecuado y una dosificación con cemento portland en buena cantidad. El resultado de cualquier prueba mecanizada, práctica y confiable, no debe desgastar el adoquín más de 3mm.

#### **11.4.2 Resistencia a la Flexión**

Al igual que en las losas de concreto de pavimentos, el esfuerzo crítico es el de flexión. Por lo tanto convenimos en especificar una resistencia a la flexión o módulo de ruptura. El valor de módulo de ruptura mínimo, determinado en un adoquín de forma rectangular o cortado con disco de diamante, es de 40 kg./cm<sup>2</sup>

lo cual garantiza buena resistencia además establecemos que su módulo de ruptura (MR) es aproximadamente un 15 % de la resistencia a la compresión.

### **11.4.3 Resistencia a la Compresión**

Los adoquines deben estar entre 180 Kg / cm<sup>2</sup>, a 210 kg/cm<sup>2</sup> determinada en ensayos de rotura en los laboratorios del Servicio Departamental de Caminos SEDECA como se muestra en planilla de ensayo a la compresión de losetas.

Se consideran los pavimentos adoquinados como de pavimento flexible, la capa de adoquines y su capa de asiento, al recibir la carga de los vehículos, la transmiten prácticamente igual a la capa siguiente, que es la base del pavimento, las capas adoquín asiento absorben la carga, por lo tanto se considera que el adoquín asiento funciona como una carpeta especial.

Del mismo modo podemos manifestar que el pavimento articulado tiene variedad de ventajas a otra clase de pavimentos

- Altamente estéticos para construcciones turísticas y arquitectónicas
- Fáciles de montaje en la obra
- Facilidad para subsanar errores de fabricación
- Refrescan más el ambiente
- Se abre al tránsito inmediatamente
- Requiere de poco mantenimiento
- De costo igual a otros pavimentos
- De uso versátil

Su construcción sólo requiere equipo sencillo y personal no especializado,

Frente a los pavimentos articulados se presenta los pavimentos rígidos, que tienen las siguientes características:

- El concreto resiste sin sufrir deterioro a los derrames de gasolina, diesel, agua, etc.

- Los pavimentos de hormigón resisten mejor las cargas transmitidas por vehículos pesados.
- El hormigón con el transcurso del tiempo gana resistencia
- El calor no afecta al concreto hidráulico
- El hormigón no se deforma en las zonas de frenado y arranque de vehículos
- Proporciona buen drenaje superficial.
- Evita deslizamientos en las superficies mojadas

No se requieren trabajos de excavación y construcción de capa base y subbase para construir las losas de hormigón, para apoyarlas superficies de hormigón se puede utilizar la superficie existente debidamente conformada o una capa base con material drenante.

Como se puede observar ambos pavimentos comparados técnicamente son casi similares y gozan de las mismas ventajas.

### **11.5 Conclusiones Económicas**

El pavimento articulado en su fase de construcción es más barato que el del pavimento rígido y sobre lo calculado **el pavimento articulado es de 17,00 \$us./m<sup>2</sup>** a comparación del **pavimento rígido que reporta un costo total de 20,00 \$us./m<sup>2</sup>** .

Como se demuestra difieren en un orden del **15 %**, sin embargo los tiempos de vida útil de ambos se asemejan debido a que son largos, los costos de mantenimiento no son caros, pero la que menos ventaja económica tiene es el pavimento rígido, debido a que cuando se realiza una excavación o rotura del pavimento, ésta ya no es recuperable, económicamente como podría ser del pavimento articulado.

Actualmente es más fácil construir pavimentos de hormigón o pavimentos de adoquín se sabe estadísticamente que estos pueden soportar hasta tres veces su capacidad de carga de diseño, asimismo ambos, alargan la vida de los vehículos.

En síntesis habiendo sido el que ha experimentado en el diseño de ambos pavimentos tomo la alternativa de elegir el pavimento articulado no sólo por la cuestión técnica y/o economía por ser viable o de solución inmediata a un problema sino, por continuidad ampliadora del actual parqueo vehicular.

Además que el costo total del parqueo vehicular asciende a:

Con pavimento articulado **Bs. 2'338.763,91 y en \$us. 333.885,76**

Con pavimento Rígido **Bs. 2'723.445,11 y en \$us. 401.107,07**

De manera conclusiva y gráfica, se visibiliza la diferencia entre ambos tipos de pavimentos:

