

PROYECTO ASFALTADO TRAMO VIAL SALADITO-SERRANÍA TAPECUA

SUB TRAMO SALADITO SERRANÍA SERERÉ

1.- DISEÑO GEOMÉTRICO, PAVIMENTO Y OBRAS DE ARTE MENOR EN EL PROYECTO ASFALTADO TRAMO VIAL SALADITO SERRANÍA TAPECUA Sub-Tramo Saladito-Serranía de Sereré

La existencia de carreteras y su estado, es uno de los temas que está presente en el diario vivir de las personas de comunidades alejadas a los centros poblados, tanto por la necesidad de traslado de personas por motivos laborales, educacionales, acceso a establecimientos de salud, como por motivos productivos que implica la movilización de carga desde un origen productivo y un destino de consumo.

Las carreteras también son fuente de accidentes, muchos de los cuales se evitarían con buenos trazados siguiendo las normas para el diseño y no sólo accediendo a una necesidad mezquina para no dar los taludes y radios necesarios, de acuerdo a la categoría de carretera, buen estado de las vías, adecuadas demarcaciones y señalamientos. De tal forma que la oferta de adecuadas carreteras es un derecho muy apreciado por la población en general.

La construcción del tramo carretero "SALADITO SERRANÍA TAPECUA", se hace imprescindible para cambiar las condiciones de vinculación del departamento de Tarija con el resto del país y las Repúblicas del Paraguay y la Argentina, cubriendo de esta manera una necesidad imperante del país, que es la de una integración física de Bolivia con los países vecinos y sub-regiones del continente, ya que la misma permitirá un relacionamiento adecuado con países limítrofes, mediante la incorporación de una ruta que conforme un nuevo corredor de integración bioceánico, además de integrar numerosas poblaciones menores con potencial agrícola, ganadero muy fuerte que se encuentran sufriendo en la actualidad por falta de una adecuada comunicación vial, retrasos en su crecimiento económico como también el acceso a servicios básicos.

Para lograr este objetivo, la construcción del tramo deberá ser enfocada desde un punto de vista técnico-económico, que considere los factores apropiados y óptimos; evaluando los indicadores económicos de la implementación del proyecto, valorando el crecimiento del nivel de vida de la población ubicada en la zona de influencia del proyecto e identificando, prediciendo, evaluando y proponiendo medidas mitigadoras e impactos ambientales y riesgos (naturales y humanos) que origine la ejecución del proyecto, así como el pronóstico y la evaluación de efectos multiplicadores generados por el desarrollo de la región.

El Departamento de Tarija ha visto la última década grandes realizaciones viales, tanto al sur (Carretera Tarija –Bermejo), como al Norte (Tarija –Potosí) que aseguran su vinculación con los países de Chile y Perú, además del inicio del Corredor Bioceánico, indispensable a las necesidades geopolíticas del Departamento.

Tanto la globalización y regionalización de los mercados generó una corriente favorable de integración física del continente sudamericano, tanto así que el Corredor Bioceánico Central tiene como finalidad la integración física, económica, social y cultural de una vasta región de América del Sur que involucra a Chile, Paraguay, Bolivia, Brasil, Uruguay y Argentina a través de una red de obras de infraestructura fundamentales. El mismo que coloca a Bolivia por su posición geográfica como nexo de la vinculación interoceánica, además de articulador de las cuencas Andina, Amazónica y del Plata.

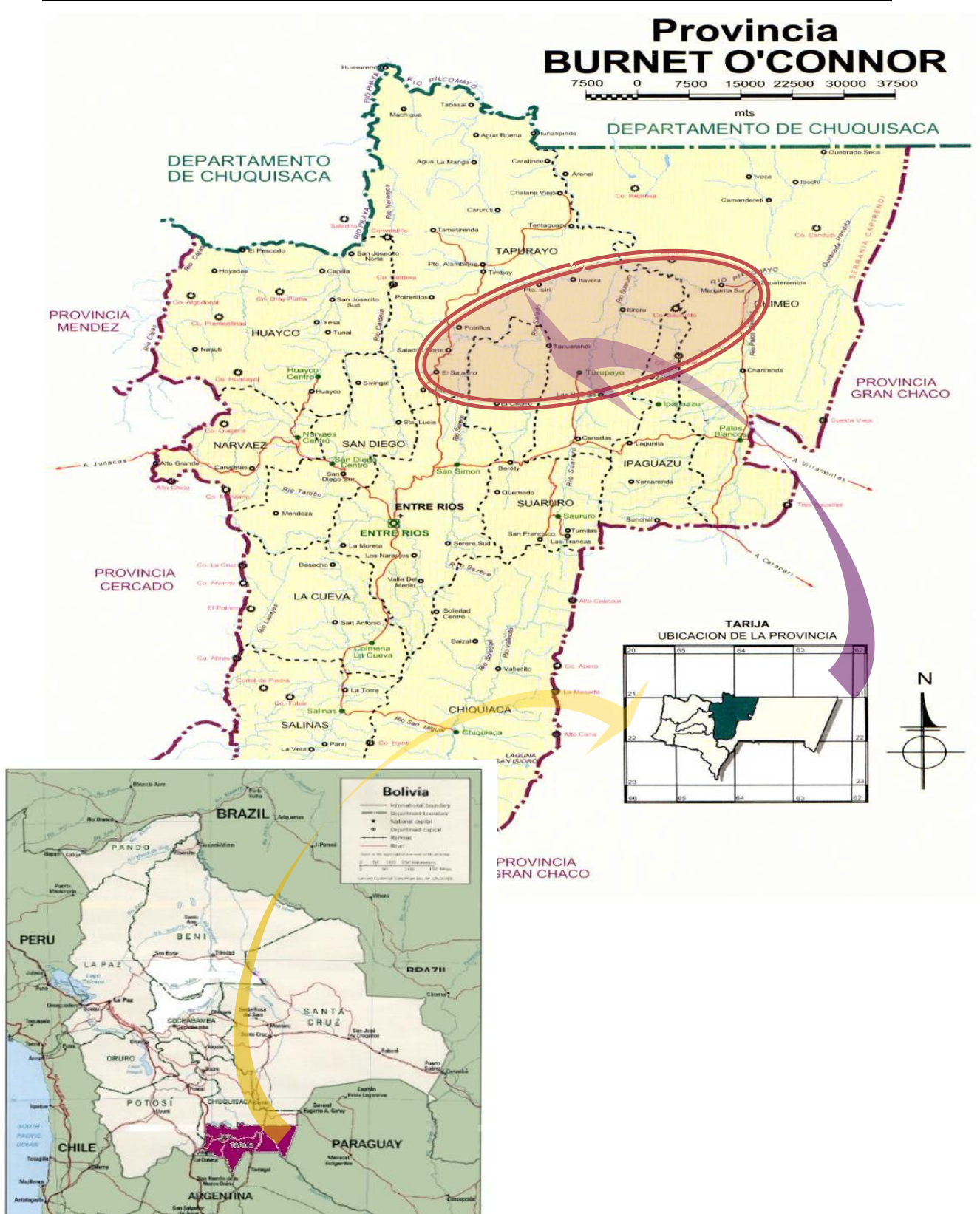
En el marco de la política empleada por la administración prefectural del departamento de Tarija, se encuentra dentro su programa de inversión pública, la construcción de carreteras, buscando utilizar los beneficios derivados como un factor de desarrollo. En este sentido, el servicio departamental de caminos, viene desarrollando los trabajos de asfaltado de el "Tramo vial Saladito-Serranía Tapequa", como parte de un programa de construcción del corredor bioceánico central, que tiene la finalidad de vincular los océanos pacífico y atlántico, permitiendo el transporte internacional de carga, y por otro lado, desarrollar e impulsar la actividad productiva, comercial y turística del departamento.

- Puerta del Chaco-Canaletas [Administración Directa S.D.C.]
- Canaletas-Entre Ríos [Empresas Unidas]
- San Simón-Saladito [Administración Directa S.D.C.]
- Saladito Serranía-Tapequa [Administración Directa S.D.C.]
- Serranía Tapequa-Zapaterambia
- Zapaterambia-Itiguazuti
- Itiguazuti-Sábalo
- Sábalo-La Central

1.1. - UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto: ASFALTADO TRAMO VIAL SALADITO-SERRANÍA TAPECUA, se encuentra ubicado en el departamento de Tarija, en la provincia O'Connor, contempla su inicio en las coordenadas N= 7642257.345, E= 383947.744 y a una altura de 862.6784 msnm. El tramo Saladito – Serranía de Tapequa, tiene inicio en la localidad de Saladito Centro, dirigiéndose hacia al noreste para seguir en dirección a Suarurito, Tambo Tarupayo, Kahuarina, Supitin para llegar al pie de la Serranía de Tapequa. El estudio se desarrolla en las comunidades de Saladito, Suarurito (perteneciente a la provincia O'Connor) del Departamento de Tarija, Bolivia.

La carretera tiene una longitud aproximada de 46.23 Km – contempla la construcción de un túnel de 1,10 Km – Bermas de 1,5m a cada lado, esta carretera se desarrolla sobre un predominio de topografía montañosa y en menor porcentaje sobre una topografía ondulada.



1.2.-ANTECEDENTES

La República de Bolivia recibió un préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para financiar una parte del costo del Programa de Apoyo a la Descentralización del Sistema Nacional de Inversión Pública y Financiamiento a la Preinversión. Dentro de este Programa se encuentra inserto el Programa de Acción Prefectural para la Prefectura de Tarija, mediante Convenio Subsidiario firmado en fecha 30 de junio de 1997 entre el Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo (VIPFE) y la Prefectura de Tarija.

El PAP–Tarija contiene una serie de actividades co-financiadas por el Préstamo BID 993/SF–BOO y la Prefectura de Tarija, cuyo objetivo es coadyuvar a la implantación en la Prefectura, del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), consistente en una serie de normas, instrumentos y procedimientos que deben aplicar a la gestión de la inversión pública, respetando de esta manera normas legales, cuyo cumplimiento es obligatorio en todas las entidades del sector público.

La estrategia de desarrollo de sus carreteras en Bolivia es conducida por el Servicio Nacional de Caminos en la red fundamental y por los Servicios Prefecturales de Caminos en las redes Departamentales, estrategia donde está previsto encarar diversos proyectos de estudio, construcción, mejoramiento y mantenimiento de las carreteras, tal de facilitar la vinculación interna y externa del país dentro de los lineamientos de protección ambiental previsto en las leyes bolivianas.

Para la realización de dicho estudio, el Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo (VIPFE), en el marco de Apoyo a la descentralización del Sistema Nacional de Inversión Pública y Financiamiento a la Preinversión (SNIPPRE), según Contrato de Préstamo Nº 993/SF–BO, procedió a la preselección de Empresas Consultoras, conformando una lista corta de empresas consultoras habilitadas, a las que se invita a presentar sus propuestas técnicas y económicas para la realización de estudios de preinversión en diferentes sectores de inversión pública: saneamiento básico, desarrollo urbano, transportes, infraestructura de apoyo a la producción, preservación de recursos naturales y medio ambiente, energía, educación y salud; y en dos rangos de acuerdo al monto de las propuestas.

Una de las principales políticas de la Administración Prefectural a partir de la Descentralización Administrativa, dentro de su Programa de Inversión Pública de 2008 es apoyar al sector transportes, buscando utilizar los beneficios derivados de la inversión en el mismo como un factor de desarrollo.

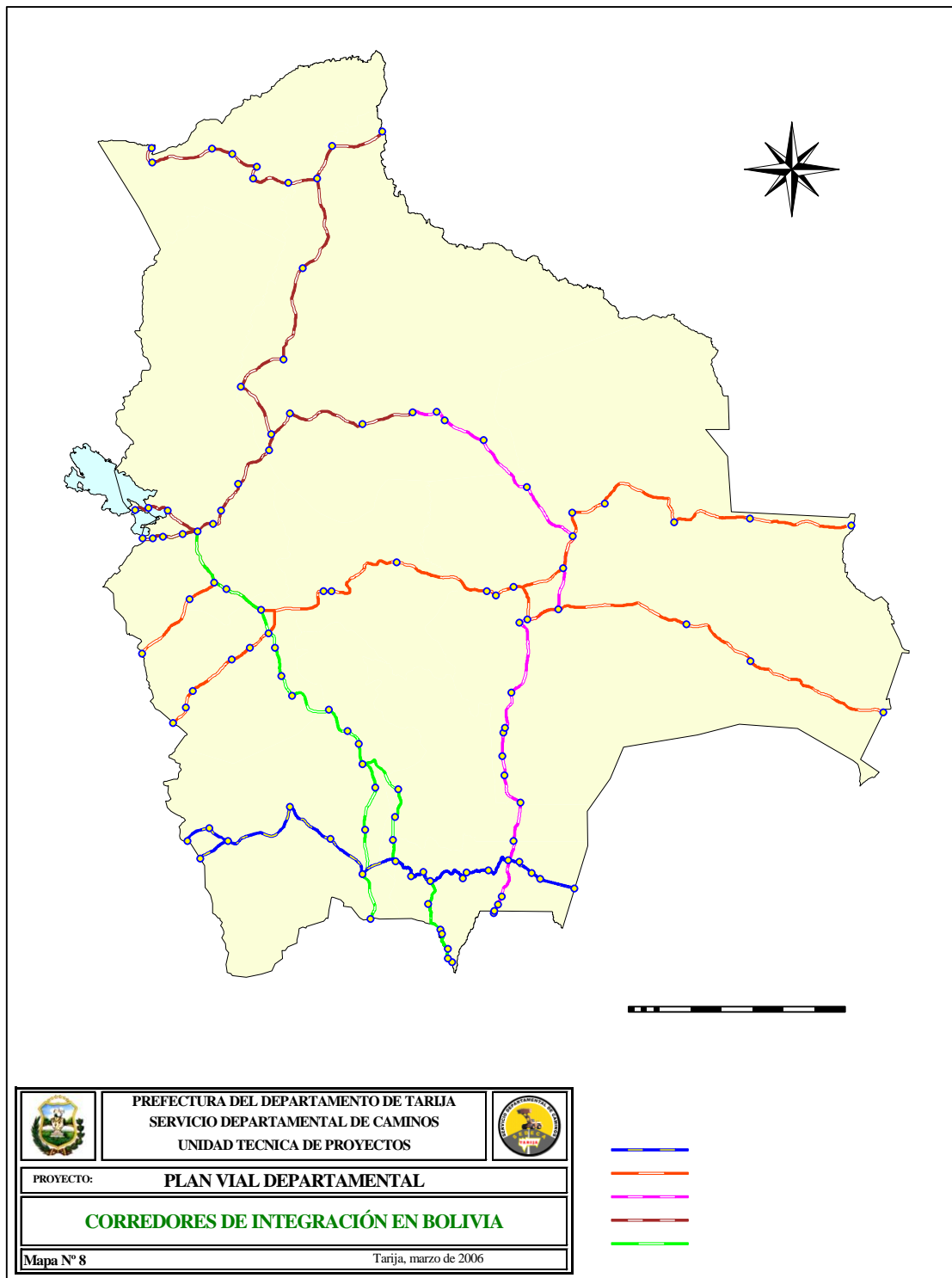
Es en este marco, la Prefectura del Departamento de Tarija, hace hincapié en el desarrollo del departamento partiendo por la construcción y consolidación de la red vial, que a través del Servicio Departamental de caminos ha priorizando la ejecución de este proyecto de inversión en el sector de transportes, de acuerdo a las prioridades y estrategias establecidas en el Plan de Desarrollo Departamental.

- Dentro de los caminos existentes en la Tercera Sección de la Provincia Gran Chaco, ha priorizado la ejecución del pavimentado del tramo de la Ruta Fundamental F011 Villa Montes – Isirí, puesto que representa una ruta estratégica de comunicación con la capital del Departamento y de allí con el resto de los caminos de la República de Bolivia.
- La política de transportes como parte del Plan General de estrategia de desarrollo económico y social de la nación, establece de manera específica las siguientes prioridades:

- *La necesidad de vinculación internacional mediante el desarrollo de los corredores identificados, que generen una corriente favorable de integración física del continente sudamericano, para ello se ha previsto el desarrollo de cuatro corredores de exportación.*
- *La vinculación vial interprovincial y vecinal, en función a los circuitos agroalimentarios y permitir el acercamiento de los mercados y la incorporación económica de diferentes zonas de producción de alimentos.*
- *El mantenimiento de caminos con el fin de lograr una operación permanente y la prestación de servicios de transporte eficientes y económicos.*
- *Dentro de los objetivos de vinculación internacional, se han definido ejes viales de conexión internacional y corredores de exportación, estando la carretera motivo del presente estudio conectada al Corredor de Exportación Central de Sudamérica, que comprende el tramo Ollagüe (Frontera con la República de Chile) – San Cristóbal – Tupiza – Iscayachi – Tarija – Entre Ríos – Palos Blancos – Villa Montes – Hito BR 94 con su ramal Palos Blancos – Caraparí – Yacuiba. El corredor bioceánico está conectado a los principales corredores de Bolivia que se indican a continuación.*
- *Corredor Norte-Sur: Trinidad – Guayaramerín – Santa Cruz – Villa Montes - Yacuiba.*
- *Corredor Oeste – Sur: Desaguadero – La Paz – Oruro – Potosí – Tarija – Bermejo, a partir de Tarija carretera F011 a Villa Montes – Hito BR 94 con su ramal Palos Blancos – Caraparí - Yacuiba.*

La construcción del camino "SALADITO–SERRANÍA TAPECUA" es considerada prioritaria para el desarrollo del Departamento de Tarija debido principalmente a los siguientes factores:

- *Necesidad de integración física que tiene Bolivia con los países vecinos y sub-regiones del continente, ya que la misma permitirá un relacionamiento adecuado con países limítrofes.*
- *Necesidad de integración departamental que tiene Tarija, porque el tramo carretero permitirá vincular las provincias Cercado, O'Connor y Gran Chaco.*
- *Necesidad que tiene Bolivia de mejorar las condiciones de infraestructura para la exportación de productos no tradicionales que permitirán el incremento y diversificación de la producción creando nuevas fuentes de trabajo, en el contexto de la evolución de la economía.*
- *Las restricciones y dificultades a las que se ve sometida la carretera, debido a las características actuales: ancho de plataforma, superficie de rodadura, pendientes pronunciadas, radios de curvatura insuficientes, deficiencias en los sistemas de drenaje, taludes no estabilizados que originan frecuentes interrupciones del tráfico, con los consiguientes perjuicios para la economía de la región y de los usuarios, incrementando sustancialmente los costos de operación de los vehículos que transitan por la carretera.*
- *La urgencia de mejorar las condiciones de vida, a través de la comunicación e integración de los grupos de bajos ingresos económicos del sur Boliviano, incorporándolos a la economía nacional.*
- *Necesidad de mejorar las condiciones de ocupación e integración territorial.*



Los caminos constituyen uno de los más valiosos factores de desarrollo económico y social de todo el país. El transporte desempeña un papel esencial en lo que se refiere a la producción de las tierras, comercialización de productos agrícolas y posibilidades de acceso a la riqueza forestal, ganadera, petrolera, industrial y minera. Es un factor significativo en el desarrollo de la Industria, expansión del comercio, conducción de programas sanitarios, educativos, etc. Y los tiempos de viaje juegan un rol importante en la productividad, en los costos de operación vehicular y en la calidad de la carga entregada.

1.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El tramo Saladito-Serranía Tapehua atraviesa una topografía variable a lo largo de toda su longitud, El sistema de drenaje cuenta con obras de arte mayor y menor. Para el diseño se tomará un ancho de plataforma de 10.30 mt., con una superficie de rodadura de Carpeta de 5 cm. Los radios de curvas utilizadas son mayores 229.00 mt. con pendientes longitudinales hasta 7.0%.

1.4.- ESTADO ACTUAL DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

La ruta 11, es parte de la red fundamental del país, en la actualidad, presta servicios a los usuarios desde la ciudad de Tarija hasta el Hito BR-94 frontera con la república del Paraguay. En su desarrollo vincula además las poblaciones intermedias de Entre Ríos y Villamontes para lo cual se tiene que atravesar por las Serranías del sub-Andino: San Simón, Tapehua, Suaruro, Irahuasuri, Caipipendi y la Serranía del Aguarague), El trazo actual involucra anchos de plataforma estrechos, radios de curvatura pequeños, con constantes curvas inversas y pronunciadas pendientes longitudinales, los cuales se constituyen en impedimentos técnicos para el tránsito de vehículos con mayor capacidad de carga y por otro económicamente hacen que el costo de operación de los usuarios sea elevado. Las características actuales además generan condiciones de transitabilidad bien inseguras y se constituyen en latentes frentes de accidentes. En este sentido, se ha consolidado un nuevo trazo, en el propósito de evitar las condiciones topográficas y geológicas del actual tramo. Este trazo en su totalidad es de apertura, desarrollándose sobre una topografía ondulada, con una longitud de 46+230.00 Km.

- En una red vial en mal estado, por cada 1 US \$ "ahorrado" en conservación vial, se gastan: 3 US\$ más en costos de operación vehicular para los usuarios, y 3 US\$ en costos de reconstrucción y rehabilitación para la administración vial.
- Entre 1% y 2% del producto interno bruto (PIB) se puede consumir inútilmente cada año en costos adicionales de operación vehicular y rehabilitación vial.
- Tomando en cuenta otros factores, las pérdidas pueden aumentar (al doble).
- Una buena conservación puede contribuir al crecimiento económico.

2.- DISEÑO GEOMÉTRICO

2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE DISEÑO GEOMÉTRICO

¹Existen factores de distinta naturaleza que influyen en diversos grados el diseño de una carretera. No siempre es posible considerarlos explícitamente en una instrucción o recomendación de diseño en la justa proporción que les puede corresponder.

Factores funcionales

Tienen relación, en general, con el servicio para el cual la carretera debe ser diseñada, destacándose los siguientes:

- ⊕ Función que debe cumplir la carretera.
- ⊕ Volumen y características del tránsito inicial y futuro.
- ⊕ Velocidad de proyecto y velocidad de operación deseable.
- ⊕ Seguridad para el usuario y la comunidad.
- ⊕ Relación con otras vías y la propiedad adyacente.

Factores físicos

Dicen relación con las condiciones impuestas por la naturaleza en la zona del trazado y suelen implicar restricciones que la clasificación para diseño debe considerar. Los principales son:

- ⊕ Relieve.
- ⊕ Hidrografía.
- ⊕ Geología.
- ⊕ Clima.

Factores de costo asociados a la carretera

Los costos asociados a una carretera son consecuencia de la categoría de diseño adoptada para ella. Esta relación es tan directa que muchas veces actúa como un criterio realimentador que obliga a modificar decisiones previas respecto de las características asignadas a un Proyecto.

Estas situaciones se resolverán mediante los estudios económicos de Prefactibilidad o Factibilidad.

Factores humanos y ambientales

Las decisiones tecnológicas están sin duda relacionadas con las características de la comunidad que se pretende servir y el medio ambiente en que ésta se inserta.

Algunos de los factores humanos y ambientales que influyen en mayor grado las decisiones en relación a un proyecto de carreteras son:

- ⊕ Idiosincrasia de usuarios y peatones.
- ⊕ Uso de la tierra adyacente al eje vial.
- ⊕ Actividad de la zona de influencia.

¹ Controles Básicos de Diseño Cap.1 ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS

⊕ Aspectos ambientales-impacto y mitigación.

La acertada selección de la categoría que le corresponde a un proyecto específico, así como la correcta aplicación de las técnicas de diseño, permiten, mediante un tratamiento cuidadoso de los sectores conflictivos, obtener un equilibrio óptimo entre seguridad deseable, calidad de servicio y rentabilidad social del proyecto.

Ninguna Norma debe sustituir el buen criterio y el juicio explícito del diseñador.

La carencia de investigaciones nacionales y regionales en Sudamérica, sobre los requerimientos particulares y las características locales aplicables al diseño geométrico de las carreteras, obliga a la selección deliberada de las prácticas internacionales más reconocidas.

Las normas no deben constituirse en una camisa de fuerza ni generar conflictos en su aplicación por los países, antes bien deben ofrecer una guía sólida y técnicamente aceptable sobre las soluciones más deseables para el diseño geométrico de las carreteras regionales.

Los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación, son los cuatro elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito. Las carreteras y sus intersecciones, estas últimas con su usual concentración de complejos y diversos movimientos, deben diseñarse con suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de las demandas de dicho tránsito, durante todo el período seleccionado para el diseño de las instalaciones. La capacidad, a su vez, puede ser limitada por aspectos adversos de su entorno, relacionados con interferencia de peatones, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y factores climáticos que afectan la visibilidad, disminuyendo la velocidad y las condiciones físicas y anímicas de los conductores.

Tan importante como ofertar mediante un buen diseño la capacidad requerida de una carretera, es brindarla en condiciones de óptima seguridad y eficiencia en los costos de operación de los vehículos.

Los criterios, límites normativos y recomendaciones que se emplearon para el diseño geométrico de los elementos constitutivos de la vialidad, en planta y en alzado, se ha tomado como base las recomendaciones del Manual de Diseño Geométrico el cual forma parte de los manuales técnicos para el diseño de carreteras en Bolivia, en el marco del proyecto "Elaboración y Actualización de los manuales técnicos de diseño geométrico, Diseño de obras de hidrología y drenaje, Dispositivos de control de tránsito y Ensayos de Suelos y Materiales, para carreteras" para la administradora boliviana de carreteras. En consideración a que para el desarrollo de este manual y normas ha sido basado en la AASHTO 94 y sus actualizaciones, del mismo modo, para este fin se ha obtenido como base el mismo, obteniéndose parámetros de diseño adecuados al análisis efectuado sobre las características topográficas, la velocidad, seguridad en la operación vehicular, etc.

La velocidad de proyecto será la que nos permita definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad. Se ha considerado que la velocidad de los vehículos es uno de los factores principales en cualquier proyecto vial, y ésta debe ser lo más elevada como practicable sea posible dentro de un marco lógico para lograr un alto grado de seguridad, movilidad y eficiencia.

La planimetría en el ancho de vía a lo largo del proyecto está representada por el eje horizontal que comprende una línea continua de geometría uniforme, conformada por rectas tangentes, en lugares donde la topografía lo permite, enlazadas por arcos de círculos, todo ello contribuye al movimiento en una dirección continua.

En el presente estudio el criterio fundamental fue el de minimizar al máximo los volúmenes de obra (Corte y Terraplén) Ya que estos ítems son los que tienen una gran influencia en el presupuesto final de la obra. Para minimizar estos costos se han tomado en cuenta los parámetros mínimos de diseño de la Norma Nacional.

Se adoptó los criterios de diseño para la carretera en función de las características topográficas de los diferentes sectores por los que atraviesa, aprovechando al máximo el espacio físico que ocupa actualmente la sección transversal, con el fin de minimizar cortes y terraplenes, modificando el alineamiento donde ha sido necesario para dotar a la carretera de radios adecuados a la velocidad de diseño. Así mismo, se llevó la gradiente longitudinal hasta un máximo de 7.0%.

2.1.1.- Categoría de la carretera

ASPECTOS GENERALES

En Bolivia existe una clasificación definida en el Decreto Supremo 25134 de 1996 que define el Sistema Nacional de Carreteras. Esta clasificación no está orientada al diseño, sino a la administración de las redes viales del país, definiendo tres niveles dentro del sistema: Red Fundamental, Redes Departamentales y Redes Municipales. La Red Fundamental está bajo la responsabilidad de la Administradora Boliviana de Carreteras.

La siguiente clasificación de carreteras y caminos motivo de la presente sección está orientada específicamente al diseño.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

Categoría de las vías

²La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, que son:

- ⊕ Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias.
- ⊕ Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo.

Cada Categoría se subdivide según las velocidades de Proyecto (V_p) consideradas al interior de la categoría. Las V_p más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado. El alcance general de dicha terminología es:

Terreno Llano: Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre, lo que permite seleccionar con libertad el emplazamiento del trazado haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas. El relieve puede incluir

² Controles Básicos de Diseño Cap.1 ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS

ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre $\pm 3\%$.

Terreno ondulado: Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la Categoría de la ruta. El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes de gran altura, lo que justificará un uso más frecuente de elementos del orden de los mínimos. Según la importancia de las ondulaciones del terreno se podrá tener un Ondulado Medio o uno Franco o Fuerte.

Terreno Montañoso: Está constituido por cordones montañosos o "Cuestas" en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, Laderas de fuerte inclinación transversal, Quebradas profundas. etc.) y también por el desnivel a salvar, que en oportunidades puede obligar al uso de Curvas de Retorno. En consecuencia, el empleo de elementos de características mínimas será frecuente y obligado.

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO DE CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

Tabla 1

| CATEGORÍA | | SECCION TRANSVERSAL | | VELOCIDADES DE PROYECTO [Km/h] | CÓDIGO TIPO |
|-------------------|-------|---------------------|-------------|--------------------------------|-----------------|
| | | N° CARRILES | N° CALZADAS | | |
| AUTOPISTA | [0] | 4 ó + UD | 2 | 120-100-80 | A (n)-xx |
| AUTORUTA | [I A] | 4 ó + UD | 2 | 100-90-80 | AR (n)-xx |
| PRIMARIO | [I B] | 4 ó + UD | 2 (1) | 100-90-80 | P (n)-xx |
| | | 2 BD | 1 | 100-90-80 | P (2)-xx |
| COLECTOR | [II] | 4 ó + UD | 2 (1) | 80-70-60 | C (n)-xx |
| | | 2 BD | 1 | 80-70-60 | C (2)-xx |
| LOCAL | [III] | 2 BD | 1 | 70-60-50-40 | L (2)-xx |
| DESARROLLO | | 2 BD | 1 | 50-40-30 | D-xx |

- **UD:** Unidireccionales
- **BD:** Bidireccionales
- (n) Número Total de Carriles
- xx Velocidad de Proyecto (Km/h)
- * Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

De acuerdo al tráfico y principalmente al tipo de topografía del tramo, se asume la categoría I-B (Ondulada), ya que esta característica será la que condicione todo el desarrollo del alineamiento tanto horizontal como vertical.

³ Carreteras primarias (I.B)

Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

³ Controles Básicos de Diseño Cap.1 ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS

La sección transversal puede estar constituida por carriles unidireccionales separadas por un cantero central que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas más 1,0 m libre desde ésta al borde interior de los carriles adyacentes, pero por lo general se tratará de una calzada con dos carriles para tránsito bidireccional.

Las Velocidades de Proyecto consideradas son las mismas que para las Autorrutas, de modo que en el futuro mediante un cambio de estándar puedan adquirir las características de Autorruta:

VELOCIDADES DE DISEÑO PARA CARRETERAS PRIMARIAS

Tabla 2

| Topografía | Terreno llano y Ond. Fuerte | Terreno montañoso |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Calzadas unidireccionales | 100-90 km/h | 80 km/h |
| Calzadas bidireccionales | 100-90 km/h | 80 km/h |

(Fuente ABC)

Las Carreteras Primarias deberán contar con un Control Parcial de Acceso, entendiéndose por tal, aquel en que se disponga de enlaces desnivelados toda vez que ellos se hagan necesarios por condiciones de seguridad y capacidad derivadas del volumen de tránsito que presenta la vía secundaria (Colector o Local). Los cruces con líneas férreas deberán ser considerados de acuerdo a la topografía.

2.1.1.1.- Derecho de vía

Se entiende por derecho de vía a una parte del suelo, de propiedad privada, que tiene un uso limitado por una reglamentación de carácter local o nacional. Se trata, por lo general, de franjas de terreno por donde pasan infraestructuras de propiedad del estado o de compañías concesionarias. Los usos permitidos para estas áreas dependen del motivo por el cual han sido declaradas de uso limitado.

El derecho de vía es la faja de terreno destinada a la construcción, mantenimiento, futuras ampliaciones de la vía si la demanda de tránsito así lo exige, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico.

De ser necesario habrá una faja de Propiedad Restringida de 25 m de ancho a cada lado, zona de propiedad restringida. La restricción se refiere a la prohibición de ejecutar construcciones permanentes que afecten la seguridad o visibilidad, y que dificulte ensanches futuros.

El derecho de vía se consolida a través de Expropiaciones e Indemnizaciones, Compensaciones a las Propiedades Agrarias a ser afectadas con la Construcción de la Carretera en el contexto Legal están amparadas en las Leyes, Decretos y Reglamentos vigentes de nuestro país, así como la metodología aplicada por el PRIPA (Programa de reasentamiento e indemnización a poblaciones afectadas).

De acuerdo al D.S. 25134 esta faja tendrá un ancho de 50 m a cada lado del eje de la carretera.

DECRETO SUPREMO Nº 25134 ARTÍCULO 10.- DERECHO DE VIA. A efectos de uso, defensa y explotación de las carreteras de la Red Fundamental, se establece que son propiedad del Estado los terrenos

ocupados por las carreteras en general y en particular por las de la Red Fundamental, así como sus elementos funcionales.

Es elemento funcional de una carretera, toda zona permanentemente afectada a la conservación de la misma o a la explotación del servicio público vial, tales como las destinadas al descanso, estacionamiento, auxilio y atención médica de urgencia, pesaje, parada de autobuses, y otros fines auxiliares o complementarios.

Todas las carreteras de la Red Fundamental, comprenden las siguientes áreas:

- arcén, calzada o faja de rodadura: zona longitudinal de la carretera comprendida entre las bermas laterales de la plataforma.

- berma: consiste en la faja longitudinal de terreno en la carretera o autopista, de dos (2) metros de ancho (pavimentada o no), comprendida entre el borde exterior del arcén y la cuneta, o entre el borde del arcén y el inicio de talud, medida en horizontal a cada lado de la vía.

Esta área se utilizará eventualmente para señalización, iluminación, balizamiento, comunicaciones e instalación de barrera de seguridad.

- zona de afectación: Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía, incluida la berma, de (50) cincuenta metros, medida en horizontal y/o perpendicularmente a partir del eje de la carretera.

En esta zona, no podrán realizarse obras, ni se permitirán más usos que aquellos que sean compatibles con la seguridad vial, previa autorización escrita y expresa en cualquier caso, del Servicio Nacional de Caminos de acuerdo al procedimiento establecido al efecto en el Reglamento.

ARTÍCULO 11.- EXPROPIACIONES Y SERVIDUMBRES. En caso de que en la zona del derecho de vía existan propietarios cuya data sea anterior al diseño de la carretera, el Estado mediante el trámite expropiatorio liberará el derecho de vía para la ejecución de los trabajos de mejoramiento o construcción, a cuyo efecto asignará los recursos suficientes.

Si se establece técnicamente que no es necesaria la expropiación de determinadas áreas, sino que estas sean sometidas a servidumbre, para que se haga efectiva dicha servidumbre, se procesará al trámite correspondiente.

NUEVA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ESTADO

Artículo 57. La expropiación se impondrá por causa de necesidad o utilidad pública, calificada conforme con la ley y previa indemnización justa. La propiedad inmueble urbana no está sujeta a reversión.

LEY No 1715 INRA

TÍTULO IV-REVERSIÓN Y EXPROPIACIÓN DE TIERRAS

CAPÍTULO II-DE LA EXPROPIACIÓN.- ARTÍCULO 58º (Expropiación), La expropiación de la propiedad agraria procede por causa de utilidad pública calificada por ley o cuando no cumple la función económico-social, previo pago de una justa indemnización, de conformidad con los artículos 22º

parágrafo II, 166º y 169º de la Constitución Política del Estado. En el primer caso, la expropiación podrá ser parcial; en el segundo, será total.

ARTÍCULO 59º (Causas de Utilidad Pública). Inciso I y IV, ARTÍCULO 60º (Indemnización) inciso II, ARTÍCULO 61º (Procedimiento) inciso II y IV, ARTÍCULO 62º (Inscripción en Derechos Reales).

DECRETO SUPREMO Nº 25763 DE 5 DE MAYO DE 2000

REGLAMENTO DE LA LEY DEL SERVICIO NACIONAL DE REFORMA AGRARIA

TÍTULO VII

EXPROPIACIÓN DE LA PROPIEDAD AGRARIA

ARTÍCULO 300.- (Ámbito de Aplicación).

III. Durante la vigencia del saneamiento de la propiedad agraria sólo podrán expropiarse tierras saneadas

2.1.1.2.- Velocidad directriz [Velocidad de diseño o velocidad de proyecto]

⁴Es la velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalizado.

De acuerdo al manual de diseño geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras, La velocidad de Proyecto reemplaza a la denominada velocidad de Diseño.

En consecuencia, el concepto velocidad de Proyecto se usara para efectos del Sistema de Clasificación Funcional para Diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo condiciones bien definidas.

La velocidad directriz o velocidad de diseño de la carretera, es aquella que se asume para determinar y relacionar entre si las características del diseño geométrico, tales como los radios de curvatura, la visibilidad, peraltes y todo lo que corresponde al alineamiento horizontal y vertical.

La velocidad directriz, es la velocidad máxima a la cual los vehículos pueden recorrer la carretera con absoluta seguridad, inclusive cuando la plataforma esta mojada y considerando un conductor de habilidad media.

La velocidad de diseño del proyecto es importante, ya que es uno de los principales factores que determina el costo del proyecto. En terreno plano y ondulado se justifica mejor velocidades altas que en zonas montañosas y muy montañosas, por que la incidencia de costos de construcción es menor.

⁴ 1.2.4 CONCEPTOS RELATIVOS A VELOCIDAD EN EL DISEÑO VIAL-ABC

De acuerdo a la categoría asumida para la carretera y de acuerdo a la norma, se tiene rangos de velocidades en función de la topografía, considerando el tipo de topografía ondulada de la zona y la correspondiente categoría de la carretera, se asumirá para la velocidad de diseño un valor de 80 Km/h. Sobre la base de estos valores se calculan o se asumen el resto de los parámetros de diseño. Esto no quiere decir que en determinados sectores de la carretera no se puedan desarrollar velocidades superiores a las indicadas, dependiendo de la configuración topográfica del sector.

2.1.1.3.- Volumen de tráfico diario

Al ser un camino de apertura, el estudio se realiza en caminos próximos o que tienen influencia en el área del proyecto a iniciar. En este caso específico, el estudio se concentró en el tráfico que corresponde actualmente a los extremos de la carretera, ya que la misma no existe en la actualidad. Esto se refiere a la tranca de Entre Ríos ubicada en la Provincia O'Connor, Palos Blancos y Villa Montes las últimas ubicadas en la provincia Gran Chaco.

Se han realizado los trabajos correspondientes a afinar y/o ratificar y complementar toda la información entre ellos:

- ⊕ Conteos de clasificación del tráfico.
- ⊕ Estudios de origen y destino.
- ⊕ Estudios de velocidades.

⁵Clasificación por tipo de vehículo

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el TPDA a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- ⊕ Vehículos livianos: Automóviles, Camionetas hasta 1.500 kg.
- ⊕ Locomoción Colectiva: Buses Rurales e Inter-urbanos.
- ⊕ Camiones: Unidad Simple para Transporte de Carga.
- ⊕ Camión con Semirremolque o Remolque: Unidad Compuesta para Transporte de Carga.

Según sea la función del camino la composición del tránsito variará en forma importante de una a otra vía. En países en vías de desarrollo la composición porcentual de los distintos tipos de vehículos suele ser variable en el tiempo.

Los conteos de clasificación del tráfico se ejecutaron desde el canto de las carreteras actuales, que como ya se explicó, corresponden a los extremos, actualmente de la carretera a construir, por medio de personal previamente entrenado, los que se ubicaron en estaciones seleccionadas a objeto de captar tanto los cambios volumétricos como la composición vehicular. Se utilizaron los formularios previamente aprobados por el SEDECA. La duración de los conteos fue de 24 horas diarias, en 7 días consecutivos. Los días de los conteos fueron elegidos de manera de obtener una muestra representativa de las variaciones semanales y estacionales de los flujos vehiculares.

Se consideraron los siguientes vehículos:

⁵ Cap. 1 Pág. 4 CONTROLES BÁSICOS DE DISEÑO ABC

- ⊕ Automóviles, Vagonetas.
- ⊕ Camionetas (Hasta 2 Ton.).
- ⊕ Otros Livianos.
- ⊕ Microbuses (12 – 21 Asientos).
- ⊕ Bus Medianos (22 - 35 Asientos).
- ⊕ Bus Grande (36 Asientos o más).
- ⊕ Camión Pequeño (2,5 - 5,5 Ton.).
- ⊕ Camión Mediano (6.0 - 9,5 Ton.).
- ⊕ Camión Grande (10 Ton. o más).
- ⊕ Camión con Acoplado.
- ⊕ Motocicletas.

Los mismos que posteriormente son agrupados en cuatro grupos: livianos, utilitarios, buses y camiones, esto con el objeto de dar una explicación más clara y sencilla.

La información fue registrada en formularios cuyo diseño fue previamente aprobado por el Servicio Departamental de Caminos.

El procesamiento de los datos obtenidos proporcionó información referida a las cantidades y tipos de carga transportada, número de pasajeros, objeto del viaje, etc., por tipo de vehículo.

Una vez obtenida la información se procede a su procesamiento con el fin de tener resultados concisos y manejables referidos a las cantidades y tipos de carga transportada, números de pasajeros, objeto del viaje, etc. Por tipo de vehículo, esto con el objetivo de utilizarlos posteriormente, ya sea como insumos para estudios posteriores, o para tomar las medidas que se requieran en la solución de los problemas presentes.

Se efectuó, igualmente, un estudio de velocidades, el que será utilizado en la evaluación económica, ya que proporciona parámetros que serán considerados en el cálculo de los costos de operación.

Los Volúmenes de Trafico Diario Anual determinados en los análisis de tráfico actual y futuro, para las proyecciones a los 10 años posteriores a la habilitación de la carretera, estiman volúmenes superiores a los 1500 vehículos diarios.

2.1.2.- Criterios de diseño Planimétrico

2.1.2.1.- Peraltes

La sobreelevación o peralte depende de las condiciones climáticas, tipo de área, urbana o rural, frecuencia de vehículos de baja velocidad y las condiciones del terreno.

Los peraltes son las sobre elevaciones transversales de la calzada en trazados horizontales curvos, donde aparece la fuerza centrífuga originando peligros a la estabilidad de los vehículos en movimiento, el deslizamiento transversal y el vuelco.⁶ Para evitar estos peligros, la norma propone ciertos valores como se ven en el cuadro siguiente:

⁶ Tabla 2-3-3 Cap. 2 Diseño Geométrico del trazado ABC

VALORES MÁXIMOS PARA EL PERALTE Y LA FRICCIÓN TRANSVERSAL

Tabla 3

| | $e_{\text{máx}}$ | f |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|
| Caminos V_p 30 a 80 km/h | 7% | $0,265 - V/602,4$ |
| Carreteras V_p 80 a 120 km/h | 8% | $0,193 - V/1134$ |



Considerando que en las condiciones climáticas de la zona, en donde se emplazara la carretera, en la cual no existe la posibilidad de formación de nieve y teniendo en cuenta la topografía accidentada de la región se adoptó como peralte máximo el valor de 8%, el cual condicionara el valor de radio mínimo en curvas horizontales y la longitud de transición de las clotoides.

- Coeficientes de fricción

La seguridad de circulación de los vehículos en las curvas depende, además del, peralte, también del coeficiente de fricción o de rozamiento lateral, que se origina entre los neumáticos y la superficie del pavimento.

El valor del coeficiente de fricción es determinado experimentalmente considerando las condiciones medias del vehículo, tales como la suspensión. Neumáticos, características dinámicas, etc. Asimismo las

características de la calzada como la rugosidad, presencia de agua, etc., también la habilidad del conductor, ángulo de deriva, confort y comodidad de los pasajeros.

Los valores máximos de los coeficientes de fricción, si no son superados, proporcionan aceptablemente la seguridad de que no se producirá el desplazamiento del vehículo y que el conductor y los pasajeros no tendrán la velocidad directriz.

Los valores asumidos son datos encontrados por los Manuales Técnicos Para el Diseño de Carreteras en Bolivia, las cuales se encuentran en función de la velocidad de proyecto respondiendo a las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1

$$f = 0.265 - \frac{V}{602.4} \leftrightarrow 30 \leq V \leq 80 \text{ [Km/h]}; e_{max} = 7\%$$

Ecuación 2

$$f = 0.193 - \frac{V}{1134} \leftrightarrow 80 \leq V \leq 120 \text{ [Km/h]}; e_{max} = 8\%$$

Donde:

f = Coeficiente de Fricción

V = Velocidad directriz o de Diseño

2.1.2.2.- Radios mínimos de curvas horizontales

Los radios mínimos de curvas horizontales calculados para las velocidades directrices, los peraltes y los coeficientes de fricción, condiciones climáticas, tipo de tráfico, etc. Han sido determinadas a partir de la siguiente fórmula:

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

Ecuación 3

Donde:

R_{min} = Radio de Curva mínimo (metros)

V = Velocidad Directriz (Km/h)

e = Peralte (m/m)

f = Coeficiente de fricción adimensional

Para $e_{\max} = 6\%$ y 8% resultan los valores redondeados de los radios mínimos mostrados en el siguiente cuadro.

VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (f) Y DE RADIOS MÍNIMOS

Tabla 4

| CAMINOS COLECTORES-LOCALES-DESARROLLO | | | | |
|--|------------|-----------|----------------|--------|
| Vp Km/h | e_{\max} | f | R_{\min} [m] | |
| | | | Calculado | Diseño |
| 30 | 7.00% | 0.2151992 | 24.847945 | 25 |
| 40 | 7.00% | 0.1985989 | 46.904226 | 50 |
| 50 | 7.00% | 0.1819987 | 78.115647 | 80 |
| 60 | 7.00% | 0.1653984 | 120.41907 | 120 |
| 70 | 7.00% | 0.1487981 | 176.33915 | 180 |
| 80 | 7.00% | 0.1321979 | 249.22963 | 250 |
| CARRETERAS-AUTOPISTAS AUTORRUTAS-PRIMARIOS | | | | |
| 80 | 8.00% | 0.1224533 | 248.91523 | 250 |
| 90 | 8.00% | 0.1136349 | 329.3803 | 330 |
| 100 | 8.00% | 0.1048166 | 426.04488 | 425 |
| 110 | 8.00% | 0.0959982 | 541.34401 | 540 |
| 120 | 8.00% | 0.0871799 | 678.22645 | 700 |

Fuente: Elaboración Propia, Mediante La Ecuación 1a, 1b y 2

El Desarrollo mínimo de curvas horizontales

Dado que el desarrollo de la curva circular es directamente proporcional al producto de la deflexión asociada a la curva circular (Δ_c) por el radio de la misma, para radios en el orden del radio mínimo y/o deflexiones pequeñas, resultan desarrollos demasiados cortos que conviene evitar en razón de la adecuada percepción de la curva.

- ⊕ En general se aceptarán desarrollos mínimos asociados a una variación de azimut entre el PC y el FC de la Curva Circular $\Delta_c \geq 9^\circ$ siendo deseables aquellos mayores o iguales a 20° .

DESARROLLO MÍNIMO PARA CURVAS CIRCULARES DE RADIO MÍNIMO

Tabla 5

| Vp[Km/h] | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
|---------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $\Delta_c=9^\circ$ | 7 | 12 | 17 | 26 | 35 | 47 | 60 | 76 | 100 |
| $\Delta_c=20^\circ$ | 16 | 26 | 30 | 57 | 70 | 104 | 134 | 170 | 220 |

- ⊕ Deflexiones Totales con $\Delta < 6^\circ$.- En estos casos se deben usar curvas circulares de radios muy amplios, que aseguren desarrollos mínimos del orden de los indicados en la siguiente tabla. No se podrán usar curvas de transición pues el término $(\omega - 2\theta_c)$ se hace negativo y no existe solución para el conjunto clotoide—arco circular.

DESARROLLOS MÍNIMOS PARA DEFLEXIONES ≤ 6

Tabla 6

| Vp(km/h) | 2° | 3° | 4° | 5° | 6° |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 40—60 | 140 | 125 | 115 | 100 | 90 |
| 70—90 | 205 | 190 | 170 | 150 | 130 |
| 100—120 | 275 | 250 | 225 | 200 | 175 |

En trazados nuevos no se aceptarán deflexiones de menos de 2°.

- ⊕ Deflexiones Totales con $7g < \omega < 15g$ Esta situación es conflictiva, pues si se diseña con clotoides respetando $\tau > 3,1g$, es decir $A = R/32$, el ω disponible es muy pequeño para valores de ω cercanos a ω con lo que para lograr desarrollos mínimos aceptables, tales como los de la primera línea de la Tabla 2.3-6, se requiere usar radios muy grandes, que obligan a usar clotoides también grandes. Resulta en esos casos preferible emplear curvas circulares que no requieren clotoide ($R \geq 1500$ m para $V \leq 80$ km/h o $R \geq 3000$ para $V \geq 80$ km/h). A medida que ω crece acercándose a $15g$ la solución en base a clotoides y curvas circulares razonablemente grandes es adecuada, salvo que no existan limitaciones de espacio para usar curvas circulares sin clotoide. Para valores de ω en el orden de $10g$ se deberá analizar ambas soluciones y elegir la que más se adecua a la situación.

Curvas espirales de transición

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta o tangente de una carretera a una determinada curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera y en ocasiones invadiendo el carril vecino, una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrífuga que es propia de la circulación por dicha curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) - - hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC). En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Esta condición produce un incremento y decremento gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño. No cabe lugar a dudas de que la utilización de curvas en espiral mejora la apariencia y la circulación en una carretera.

En el diseño de curvas de transición se han utilizado la parábola cúbica, la lemniscata y la clotoide, siendo esta última, también conocida como espiral de Euler, la más aceptada en el diseño de carreteras. Por definición, el radio en cualquier punto de la espiral varía en relación inversa con la distancia medida a lo largo de la espiral.

La clotoide presenta las siguientes ventajas:

- El crecimiento lineal de su curvatura permite una marcha uniforme y cómoda para el usuario, quien sólo requiere ejercer una presión creciente sobre el volante, manteniendo inalterada la velocidad, sin abandonar el eje de su carril.

b) La aceleración transversal no compensada, propia de una trayectoria en curva, puede controlarse limitando su incremento a una magnitud que no produzca molestia a los ocupantes del vehículo. Al mismo tiempo, aparece en forma progresiva, sin los inconvenientes de los cambios bruscos.

c) El desarrollo del peralte se logra en forma también progresiva, consiguiendo que la pendiente transversal de la calzada aumente en la medida que aumenta la curvatura.

d) La flexibilidad de la clotoide permite acomodarse al terreno sin romper la continuidad, lo que permite mejorar la armonía y apariencia de la carretera.

e) Las múltiples combinaciones de desarrollo versus curvatura facilitan la adaptación del trazado a las características del terreno, lo que en oportunidades permite disminuir el movimiento de tierras logrando trazados más económicos.

La clotoide es una curva de la familia de las espirales, cuya ecuación paramétrica está dada por:

Ecuación 4

$$A^2 = R \times L$$

Dónde:

A = Parámetro (m)

R = Radio de curvatura en un punto (m)

L = Desarrollo (m). Desde el origen al punto de radio R.

En el punto de origen $L = 0$ y por lo tanto $R = \infty$; A la vez que cuando $L \rightarrow \infty$; $R \rightarrow 0$

El parámetro A define la magnitud de la clotoide, lo que a su vez fija la relación entre R, L y τ . Siendo τ el ángulo comprendido entre la tangente a la curva en el punto (R, L) y la alineación recta normal a $R = \infty$ que pasa por el origen de la curva.

Las expresiones que ligan R, L y τ son:

Ecuación 5

$$\tau_{\text{radianes}} = \frac{L^2}{2A^2} = 0.5 \frac{L}{R} \quad \tau_{\text{grados cen}} = 31.831 \frac{L}{R}$$

La variación de A genera por tanto una familia de clotoides que permiten cubrir una gama infinita de combinaciones de radio de curvatura y de desarrollo asociado.

Según el nuevo manual de diseño (que adopta las determinaciones del manual de la AASHTO), la longitud de la espiral se define a partir del parámetro de la espiral (A). De manera que la longitud como tal debe

ser calculada dividiendo el cuadrado del parámetro (A) entre el radio de la curva (Rc), sujeto a cuatro criterios:⁷

Criterio a) Por condición de guiado óptico, es decir para tener una clara percepción del elemento de enlace y de la curva circular, el parámetro debe estar comprendido entre:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

La condición $A \geq R/3$ asegura que el ángulo τ será mayor o igual que $3,54^\circ$ y $A \leq R$ asegura que τ sea menor o igual que $31,83^\circ$. Para radios de más de 1000 m se aceptarán ángulos τ de hasta $3,1^\circ$, que está dada por $A = R/3,2$.

Criterio b) Como condición adicional de guiado óptico es conveniente que si el radio enlazado posee un $R \geq 1,2 R_{\min}$ el Retranqueo de la Curva Circular enlazada (ΔR) sea $\geq 0,5$ m, condición que está dada por:

$$A \geq \sqrt[4]{12R^3}$$

Estas condiciones geométricas deben complementarse de modo de asegurar que:

Criterio c) La longitud de la clotoide sea suficiente para desarrollar el peralte, situación que en general está cubierta por los parámetros mínimos y los valores máximos de la pendiente relativa.

Condición que se cumple si:

$$A \geq \sqrt{\left(\frac{n \cdot a \cdot e \cdot R}{\Delta}\right)}$$

n = número de carriles entre el eje de giro y el borde del pavimento peraltado a = ancho de cada carril, sin considerar ensanches e = Peralte de la curva R = Radio de la Curva Δ = Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro

Criterio d) La longitud de la clotoide sea suficiente para que el incremento de la aceleración transversal no compensada por el peralte, pueda distribuirse a una tasa uniforme J (m/s^3). Este criterio dice relación con la comodidad del usuario al describir la curva de enlace, y para velocidades menores o iguales que la Velocidad Específica de la curva circular enlazada, induce una conducción por el centro del carril de circulación.

La expresión correspondiente, es:

$$A \geq \sqrt{\frac{V_e R}{46.656 J} \left(\frac{V_e^2}{R} - 1.27e \right)}$$

⁷ Cap2 Diseño Geométrico del trazado ABC

V_e = Velocidad Específica (km/h) – con máximos de 110 km/h en Caminos y 130 km/h en Carreteras.

R = Radio de la Curva Circular Enlazada (m)

J = Tasa de Distribución de la Aceleración Transversal (m/s^3)

e = Peralte de la Curva Circular (%) Los valores de J en función de V_e se dan en la Tabla 2.3-14

Se considerarán dos grupos de valores de J para el diseño, según sea la situación que se esté abordando:

Criterio d.1) Si el radio que se está enlazando posee un valor comprendido entre $R_{\min} \leq R < 1,2R_{\min}$, resulta conveniente emplear los valores de J_{\max} que se señalan en la siguiente Tabla. Con ello se persigue que el usuario perciba una fuerza centrífuga no compensada por el peralte que crece rápidamente, en relación con la que percibe en curvas más amplias. Ello le advertirá que está entrando a una configuración mínima:

TASA MÁXIMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN TRANSVERSAL

Tabla 7

| $V_e \approx V_p$ (km/h) | 40 - 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 |
|--------------------------|---------|-----|---------|-----|-----|-----|
| J_{\max} (m/s^3) | 1,5 | 1,4 | 1,0/0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,4 |

Nota: Para 80 km/h el valor mayor corresponde a Caminos y el menor a Carreteras

Los valores de J_{\max} que se indican en la Tabla anterior fueron verificados según el criterio c) de modo que los parámetros mínimos resultantes sean tales que la longitud de la clotoide permita desarrollar el peralte cumpliendo con la pendiente relativa de borde Δ_{\max} que se indica en la Tabla 2.3-8, para los casos de Caminos y Carreteras con $n = 1$ ó $n > 1$, es decir, vías bidireccionales y unidireccionales de 2 carriles por calzada.

La Tabla, que se presenta a continuación, contiene los parámetros mínimos así calculados.

PARÁMETROS MÍNIMOS DE LA CLOTOIDE POR CRITERIO DE J_{\max} Y Δ_{\max}

Tabla 8

| V_p (km/h) | R_{\min} (m) | A mínimo | |
|---|----------------|-----------------|------------------|
| | | Bidireccionales | Unidireccionales |
| Caminos ($e_{\max} = 7\%$) | | | |
| 40 | 50 | 29 | - |
| 50 | 80 | 37 | - |
| 60 | 120 | 48 | 68 |
| 70 | 180 | 60 | 83 |
| 80 | 250 | 83 | 117 |
| Carreteras ($e_{\max} = 8\%$) | | | |
| 80 | 250 | 89 | 125 |
| 90 | 330 | 110 | 144 |
| 100 | 425 | 142* | 173 |

| | | | |
|-----|-----|------|------|
| 110 | 540 | 190* | 195 |
| 120 | 700 | - | 234* |

*Manda el criterio a) $A > R/3$

Criterio d.2) si el radio que se está enlazando posee un valor de $R > 1,2 R_{mín}$, se emplearán los valores de J Normal que se indican en la siguiente Tabla o incluso algo menores, según resulta de aplicar los criterios indicados en las letras a), b) y c).

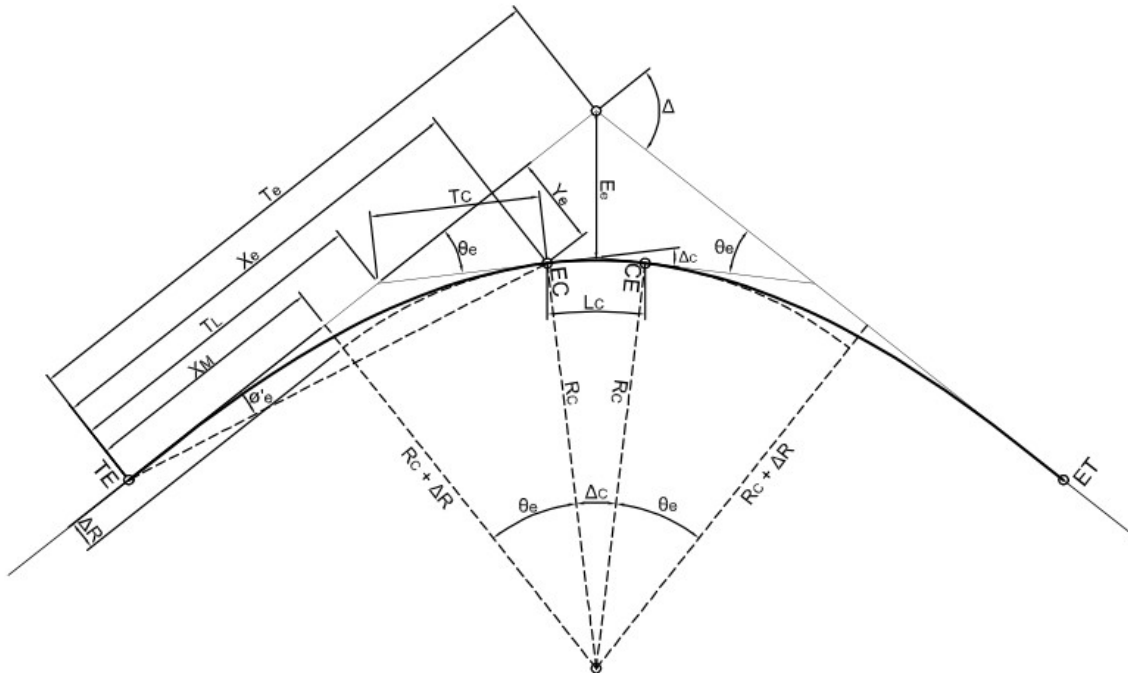
TASA NORMAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN TRANSVERSAL

Tabla 9

| Ve (Km/h) | Ve<80 | Ve≥80 |
|------------------------------|-------|-------|
| J Normal (m/s ³) | 0.5 | 0.4 |

Ecuación 6

$$Le = \frac{A^2}{Rc}$$



ECUACIONES CARTECIANAS

$$dx = dL \cdot \cos \tau ; dy = dL \cdot \sin \tau$$

A su vez

$$R = \frac{dL}{d\tau} \text{ y } \tau = \frac{L}{2R}$$

Luego

$$dL = \frac{A \cdot d\tau}{\sqrt{2\tau}}$$

Sustituyendo en dx y dy se llega a las integrales de Fresnel y desarrollando la serie:

$$\begin{aligned} X &= \frac{A}{\sqrt{2}} \int \frac{\cos \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau & X &= A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \frac{\tau^6}{9360} + \dots \right) \\ & & &= A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(\sum (-1)^{n+1} \frac{\tau^{2n-2}}{(4n-3) \cdot (2n-2)!} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{A}{\sqrt{2}} \int \frac{\sin \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau & Y &= A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(\frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1320} - \frac{\tau^7}{75600} + \dots \right) \\ & & &= A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(\sum (-1)^{n+1} \frac{\tau^{2n-1}}{(4n-1) \cdot (2n-1)!} \right) \end{aligned}$$

Radio que no requieren el empleo de clotoides⁸

- ⊕ En Caminos con $V_p \leq 80 \text{ km/h}$ Si $R > 1500 \text{ m}$.
- ⊕ En Carreteras con $V_p \geq 80 \text{ km/h}$ Si $R > 3000 \text{ m}$.

Sobre los límites antes establecidos, la aceleración transversal no compensada por el peralte "gt" es menor que el J normal para $V_e \geq 80 \text{ km/h}$ ($0,4 \text{ m/seg}^3$), considerando en el cálculo $V_e = 110 \text{ km/h}$ para caminos y $V_e = 130 \text{ km/h}$ en Carreteras.

2.1.2.3.- Curvas circulares con radios superiores al mínimo

El criterio tradicionalmente empleado con anterioridad establecía que para una velocidad de proyecto dada, correspondían peraltes decrecientes a medida que crecían los radios utilizados. Dicho criterio entra en contradicción con la realidad observada en cuanto a que mientras más amplio es el trazado, mayores son las velocidad que tienden a emplear los usuarios, V85%, según lo definido anteriormente. En consecuencia, las tendencias actuales del diseño mantienen peraltes relativamente altos para un rango amplio de radios, independizándose de la Velocidad de Proyecto, con lo cual las curvas de radio mayor

⁸ Cap.2 Pag.2-45 Diseño geométrico del Trazado ABC

que el mínimo, aceptan una Velocidad Específica (V_e) mayor que la de proyecto, lo que permite mantener la seguridad por criterio de deslizamiento, para aquel grupo de usuarios que tiende a circular a velocidades más elevadas que las de proyecto, todo ello sin aumentar la sensación de enfrenar un trazado aún más amplio.

Peralte en función del radio de curvatura

La Figura 2.3-2 entrega el valor de los peraltes a utilizar en Carreteras y Caminos, los que están dados exclusivamente en función del radio seleccionado. En ella se entregan las definiciones analíticas y la expresión gráfica que les corresponde.

Los valores de e (%) se leerán del gráfico aproximando a un decimal.

Radio- Peralte- Velocidad Específica- Coeficiente de Fricción Transversal

La expresión general que se dio en Ecuación 3, se tiene:

Ecuación 7

$$V^2 - 127R(e + f) = 0$$

Para Carreteras con $V_p \geq 80$ km/h:

$$f = 0.193 - \frac{V}{1134}$$

Ecuación 8

$$V_e^2 + (0.112R)V_e - 127R(e + 0.193) = 0$$

Resolviendo las expresiones cuadráticas para cada par de valores de $R(m)$ y $p(m/m)$, obtenidos de la Ilustración 1, mediante iteración computacional para valores crecientes de V_e , hasta que el resultado tienda a un residuo suficientemente pequeño, se obtiene el valor de V_e que satisface la expresión.

Para $R \geq 900$ m en Carreteras, se considerará que $V_e = 130$ km/h, para $R \geq 700$ m en Caminos, se considerará que $V_e = 110$ km/h.

Para calcular la V_e de curvas existentes, diseñadas mediante criterios distintos de los aquí especificados, se deberá resolver la expresión cuadrática que corresponda (camino o carretera), introduciendo el radio de la curva y el peralte que ésta tiene en terreno. La expresión considera directamente el valor de "f" vigente según la normativa actual.

Aunque no es recomendable la utilización de radios mínimos, durante el trazo del alineamiento horizontal resulta imposible cumplir con esta advertencia ya que la configuración topográfica no lo permitía y

considerar radios superiores ameritaría mayores volúmenes de obra que en muchos casos sería imposible ejecutarlos en la zona.

2.1.2.4.- Curvas en las cuales no se necesita peralte

Se establecen valores límites para los radios de las curvas horizontales, por encima de los cuales no se justifica el peralte, por tener un valor teórico muy pequeño, por cuestiones de apariencia del camino o por consideraciones relativas a cambios de la pendiente transversal de la calzada. Este valor límite debe evitar los problemas que puede crear el peralte negativo.

En este proyecto el bombeo normal de la calzada en recta será a dos aguas con pendiente de 2.0 %. Para los radios que por cálculo resulten en peraltes:

$e < 1\%$ Se mantiene el Bombeo.

$1\% < e \leq 2.0\%$ Al peralte del carril exterior se levantara hasta 2.0 %.

En general el contraperalte, o inclinación transversal de la calzada en sentido contrario al que normalmente corresponda en la curva, sólo será aceptable para radios ≥ 3.500 m en Caminos y ≥ 7.500 m en Carreteras. Su valor máximo podrá igualar al de bombeo, o inclinación transversal de la calzada en alineamientos rectos, pero sin superar $-2,5\%$.

En sectores singulares del trazado, tales como transiciones de dos calzadas a una calzada,

o bien, donde se deba modificar el ancho del Cantero central para crear Carriles Auxiliares de Tránsito Rápido, situaciones que deberán señalizarse con la debida anticipación y con indicación de la velocidad máxima aceptable, se podrán diseñar curvas en contraperalte con radios iguales o mayores que los especificados en la Tabla siguiente:

RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE EN TRAMOS SINGULARES

Tabla 10

| Vs km/h | Radio Mínimo en Contraperalte | |
|------------|----------------------------------|-----------|
| | e = -2,0% | e = -2,5% |
| 60 | 550 | 600 |
| 70 | 750 | 800 |
| 80 | 1100 | 1200 |
| 90 | 1500 | 1600 |
| 100 | 1900 | 2100 |
| 110 | 2600 | 3000 |
| 120 | 3500 | 4100 |

Vs = V señalizada, con Vs mínima = Vp-10 km/h.

Para velocidades menores que 60 km/h y en calzadas sin pavimento no se diseñarán curvas en contraperalte.

⁹ Pág. 2-24 Cap2 Diseño Geométrico del Trazado ABC

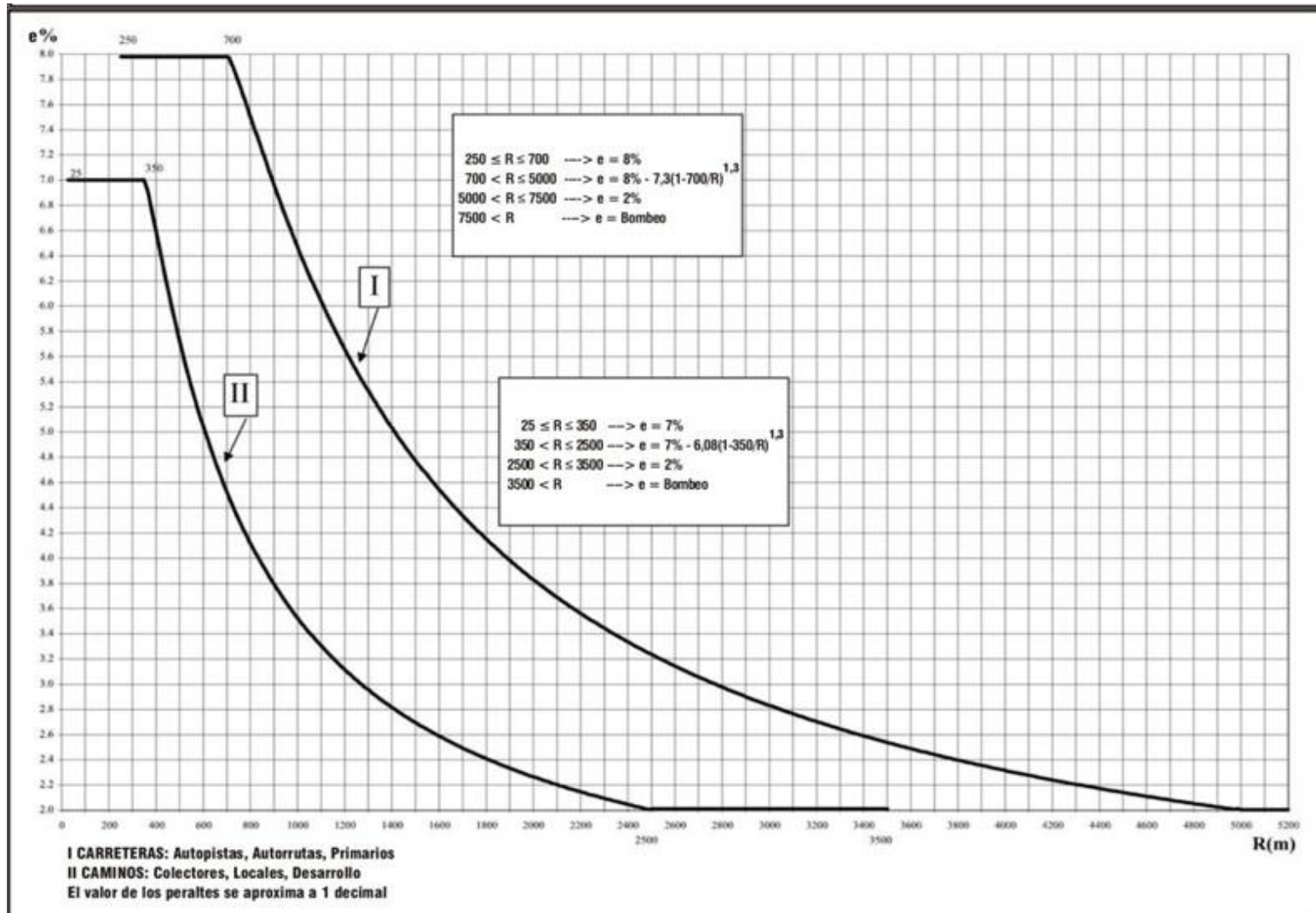


Ilustración 1

I CARRETERAS

Autopistas - Autorrutas - Primarios

| R (m) | e% | Ve (km/h) | f |
|-------|-----|-----------|-------|
| 250 | 8,0 | 80,1 | 0,122 |
| 300 | 8,0 | 86,6 | 0,117 |
| 330 | 8,0 | 90,1 | 0,114 |
| 350 | 8,0 | 92,3 | 0,112 |
| 400 | 8,0 | 97,5 | 0,107 |
| 425 | 8,0 | 99,9 | 0,105 |
| 450 | 8,0 | 102,2 | 0,103 |
| 500 | 8,0 | 106,6 | 0,099 |
| 540 | 8,0 | 109,9 | 0,096 |
| 550 | 8,0 | 110,7 | 0,095 |
| 600 | 8,0 | 114,5 | 0,092 |
| 650 | 8,0 | 118,1 | 0,089 |
| 700 | 8,0 | 121,4 | 0,086 |
| 720 | 7,9 | 122,5 | 0,085 |
| 750 | 7,8 | 124,1 | 0,084 |
| 800 | 7,5 | 126,2 | 0,082 |
| 850 | 7,2 | 128,1 | 0,080 |
| 900 | 7,0 | 130,2 | 0,078 |
| 950 | 6,7 | >130 | 0,077 |
| 1000 | 6,5 | >130 | 0,075 |
| 1200 | 5,7 | >130 | 0,070 |
| 1500 | 4,8 | >130 | 0,064 |
| 1800 | 4,2 | >130 | 0,059 |
| 2000 | 3,8 | >130 | 0,056 |
| 2200 | 3,6 | >130 | 0,054 |
| 2500 | 3,2 | >130 | 0,050 |
| 2800 | 3,0 | >130 | 0,047 |
| 3000 | 2,8 | >130 | 0,045 |
| 3500 | 2,5 | >130 | 0,041 |
| 4000 | 2,3 | >130 | 0,038 |
| 4500 | 2,1 | >130 | 0,035 |
| 5000 | 2,0 | >130 | 0,032 |
| 7000 | 2,0 | >130 | 0,022 |

II CAMINOS

Colectores - Locales - Desarrollo

| R (m) | e % | Ve (km/h) | f |
|-------|-----|-----------|-------|
| 25 | 7,0 | 30,1 | 0,215 |
| 30 | 7,0 | 32,7 | 0,211 |
| 40 | 7,0 | 37,2 | 0,203 |
| 50 | 7,0 | 41,1 | 0,197 |
| 60 | 7,0 | 44,6 | 0,191 |
| 70 | 7,0 | 47,7 | 0,186 |
| 80 | 7,0 | 50,5 | 0,181 |
| 90 | 7,0 | 53,1 | 0,177 |
| 100 | 7,0 | 55,5 | 0,173 |
| 120 | 7,0 | 59,9 | 0,166 |
| 150 | 7,0 | 65,6 | 0,156 |
| 180 | 7,0 | 70,6 | 0,148 |
| 200 | 7,0 | 73,5 | 0,143 |
| 220 | 7,0 | 76,3 | 0,138 |
| 250 | 7,0 | 80,1 | 0,132 |
| 300 | 7,0 | 84,7 | 0,118 |
| 350 | 7,0 | 90,3 | 0,113 |
| 400 | 6,6 | 94,5 | 0,110 |
| 450 | 6,1 | 97,9 | 0,107 |
| 500 | 5,7 | 101,1 | 0,104 |
| 550 | 5,4 | 104,1 | 0,101 |
| 600 | 5,1 | 106,8 | 0,099 |
| 700 | 4,5 | >110 | 0,095 |
| 800 | 4,1 | >110 | 0,091 |
| 900 | 3,8 | >110 | 0,087 |
| 1000 | 3,5 | >110 | 0,084 |
| 1200 | 3,1 | >110 | 0,079 |
| 1500 | 2,7 | >110 | 0,072 |
| 1800 | 2,4 | >110 | 0,066 |
| 2000 | 2,3 | >110 | 0,063 |
| 2500 | 2,0 | >110 | 0,056 |
| 3000 | 2,0 | >110 | 0,050 |
| 3200 | 2,0 | >110 | 0,047 |

2.1.3.- Criterios de Diseño Altimétrico

El perfil vertical de una carretera es tan importante como el alineamiento horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad. En ningún caso se debe sacrificar el perfil vertical para obtener buenos alineamientos horizontales.

El alineamiento vertical de una carretera está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- ⊕ Categoría del Camino
- ⊕ Topografía del Área
- ⊕ Trazado en Horizontal y Velocidad V* correspondiente
- ⊕ Distancias de Visibilidad
- ⊕ Drenaje
- ⊕ Valores Estéticos y Ambientales
- ⊕ Costos de Construcción

Idealmente se desea que los vehículos operen en el cambio más alto en el alineamiento vertical, sin necesidad de cambiar hasta la detención; pero por consideraciones económicas se aceptan pendientes mayores a las ideales.

2.1.3.1.- Pendientes máximas del Perfil Longitudinal

Las pendientes máximas tolerables son definidas en las normas teniendo en cuenta la topografía, el volumen y características de tráfico en coherencia con la velocidad directriz.¹⁰ Los valores correspondientes a las categorías de diseño adoptadas para el Proyecto se presentan en el siguiente cuadro.

PENDIENTES MÁXIMAS ADMISIBLES

Tabla 11

| CATEGORÍA | VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h) | | | | | | | | | |
|------------|------------------------------|------|----|----|----|----|----|-----|------|-----|
| | ≤30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| Desarrollo | 10-12 | 10-9 | 9 | - | - | - | - | - | -(1) | - |
| Local | - | 9 | 9 | 8 | 8 | - | - | - | - | - |
| Colector | - | - | - | 8 | 8 | 8 | - | - | - | - |
| Primario | - | - | - | - | - | 6 | 5 | 4,5 | - | - |
| Autorrutas | - | - | - | - | - | 6 | 5 | 4,5 | - | - |
| Autopistas | - | - | - | - | - | 5 | - | 4,5 | - | 4 |

(1) 110 km/h no está considerada dentro del rango de Vp asociadas a las categorías.

Del cuadro para categoría Primario, que es la categoría que pertenece al proyecto, adoptamos como pendiente máxima 6%. Pero en consideración a la topografía característica de la zona, en el propósito de

¹⁰ Cap.2 Pág.64 Diseño Geométrico del Trazado ABC

reducir los volúmenes de movimiento de tierras y consiguientemente disminuir el costo de construcción, se asumirá una pendiente longitudinal máxima de 7%.

Pendientes mínimas

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Se distinguirán los siguientes casos particulares:

- ⊕ Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal de 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales de hasta 0,2%. Si el bombeo es de 2,5% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.
- ⊕ Si al borde del pavimento existen soleras la pendiente longitudinal mínima deseable será de 0,5% y mínima absoluta 0,35%.
- ⊕ En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

Si los casos analizados precedentemente se dan en cortes, el diseño de las pendientes de las cunetas deberá permitir una rápida evacuación de las aguas, pudiendo ser necesario revestirlas para facilitar el escurrimiento.

2.1.3.2.- Distancias de visibilidad

La capacidad de visibilidad es de importancia en la seguridad y eficiencia de la operación de vehículos en una carretera, de ahí que a la longitud de la vía que un conductor ve continuamente delante de él, se le llame distancia de visibilidad.

Una carretera o camino debe ser diseñada de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar. En general, el conductor requiere de un tiempo de percepción y reacción para decidir la maniobra a ejecutar y un tiempo para llevarla a cabo. Durante este tiempo total, el o los vehículos que participan en la maniobra recorren distancias que dependen de su velocidad de desplazamiento y que determinan, en definitiva, las distintas distancias de visibilidad requeridas en cada caso.

Se distinguen para el diseño cinco tipos de visibilidad, bajo distintas circunstancias impuestas por el trazado de la carretera o la maniobra que se desea ejecutar:

- ⊕ Visibilidad de Frenado.
- ⊕ Visibilidad de Adelantamiento (Caminos Bidireccionales).
- ⊕ Visibilidad al Punto de Atención.
- ⊕ Visibilidad en Intersecciones.
- ⊕ Visibilidad para cruzar una Carretera o Camino.

Las dos primeras situaciones influyen el diseño de la carretera en campo abierto

Distancia de visibilidad de frenado

Cuando el vehículo circula en curva, sea esta horizontal o vertical, el factor visibilidad actúa en forma determinante en su normal circulación, por lo que la distancia de visibilidad de parada es la distancia

mínima necesaria para que un conductor que transita a ó cerca de la velocidad de diseño, vea un objeto en su trayectoria y pueda parar su vehículo antes de llegar a él. Por lo tanto es la mínima distancia de visibilidad que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera.

Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor que 0,20 m (h_2), estando situados los ojos de conductor a 1,10 m (h_1), sobre la rasante del eje de su carril de circulación.

Todos los puntos de la carretera fueron provistos de la distancia mínima de visibilidad de parada, ya que esta distancia se contempla en el cálculo de las curvas verticales.

La mínima distancia de visibilidad (d) para la parada de un vehículo es igual a la suma de dos distancias; una, la distancia (d_1) recorrida por el vehículo desde el instante en que el conductor avizora un objeto en el camino hasta la distancia (d_2) de frenado del vehículo, es decir, la distancia necesaria para que el vehículo pare completamente después de haberse aplicado los frenos.

Los valores mínimos de la distancia de visibilidad de frenado son calculados con la siguiente expresión:

Ecuación 9

$$Df = \left(\frac{V}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_1 + i)} \right)$$

Dónde:

Df = Distancia de Frenado (m).

V = V_p o V^* .

t = Tiempo de Percepción + Reacción (s).

f_1 = Coeficiente de Roce Rodante, Pavimento Húmedo.

i = Pendiente Longitudinal (m/m).

+ i Subidas respecto sentido de circulación

- i Bajadas respecto sentido de circulación

La Tabla 12 presenta los valores parciales calculados mediante la expresión citada y el valor redondeado adoptado para Df . Todo ello considerando que V^* corresponde a la velocidad asignada al tramo y que los valores de " t " y " f_1 " se han actualizado de acuerdo a las tendencias vigentes a la fecha.

Los valores allí consignados para Df son los mínimos admisibles en horizontal.

Si en una sección de carretera o camino resulta prohibitivo lograr la Distancia Mínima de Visibilidad de Frenado correspondiente a V^* , se deberá señalar dicho sector con la velocidad máxima admisible, siendo éste un recurso extremo a utilizar sólo en casos muy calificados y autorizados por la Administradora Boliviana de Carreteras.

DISTANCIA MÍNIMA DE FRENADO EN HORIZONTAL "DF" ($DF = 0,555 V + 0,00394 V^2/R$)

Tabla 12

| V | t | f ₁ | dt | Df | Df (m) | | V |
|------|---|----------------|------|-------|--------|--------|------|
| km/h | s | - | m | m | dt+df | Adopt. | km/h |
| 30 | 2 | 0,420 | 16,7 | 8,4 | 25,1 | 25 | 30 |
| 35 | 2 | | | | | 31 | 35 |
| 40 | 2 | 0,415 | 22,2 | 15,2 | 37,4 | 38 | 40 |
| 45 | 2 | | | | | 44 | 45 |
| 50 | 2 | 0,410 | 27,8 | 24,0 | 51,8 | 52 | 50 |
| 55 | 2 | | | | | 60 | 55 |
| 60 | 2 | 0,460 | 33,3 | 35,5 | 68,8 | 70 | 60 |
| 65 | 2 | | | | | 80 | 65 |
| 70 | 2 | 0,380 | 38,9 | 50,8 | 89,7 | 90 | 70 |
| 75 | 2 | | | | | 102 | 75 |
| 80 | 2 | 0,360 | 44,4 | 70,0 | 114,4 | 115 | 80 |
| 85 | 2 | | | | | 130 | 85 |
| 90 | 2 | 0,340 | 50,0 | 93,9 | 143,8 | 145 | 90 |
| 95 | 2 | | | | | 166 | 95 |
| 100 | 2 | 0,330 | 55,5 | 119,4 | 174,9 | 175 | 100 |
| 105 | 2 | | | | | 192 | 105 |
| 110 | 2 | 0,320 | 61,1 | 149,0 | 210,0 | 210 | 110 |
| 115 | 2 | | | | | 230 | 115 |
| 120 | 2 | 0,310 | 66,6 | 183,0 | 249,6 | 250 | 120 |
| 125 | 2 | | | | | 275 | 125 |
| 130 | 2 | 0,295 | 72,2 | 225,7 | 297,9 | 300 | 130 |

$V = V_p$ o V^* Según lo expuesto en Párrafo 2.1.3.2.

Distancia de visibilidad para sobrepaso

La distancia de Visibilidad para sobrepaso, es la mínima que debe estar disponible, a fin de facultar al conductor del vehículo a sobrepasar a otro que se supone viaja a una velocidad 15 Kph. menor, con comodidad y seguridad, sin causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario a la velocidad directriz, y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso.

Esta distancia fue utilizada de acuerdo a los impedimentos encontrados en el terreno, no siendo considerada como elemento importante en la ubicación definitiva del trazo ya que sería imposible implementar estas distancia especificadas en la norma. A manera informativa se muestran a continuación las distancias mínimas de visibilidad de paso exigidas en las normas.

La línea de visual considerada en este caso será aquella determinada por la altura de los ojos de uno de los conductores ($h_1 = 1,10$ m) en un extremo y la altura de un vehículo ($h_2 = 1,2$ m) en el otro. Para simplificar la verificación se considerará que al iniciarse la maniobra todos los vehículos que intervienen se sitúan en el eje del carril de circulación que les corresponde, según el sentido de avance.

El enfoque clásico elaborado por AASHTO para calcular D_a , implica definir una serie de variables y situaciones que conforman un modelo, por lo general conservador, de las diferentes realidades que se

presentan en la práctica. Contrastados los valores recomendados por AASHTO con los que se emplean en Alemania, España y Gran Bretaña, se adoptaron valores medios correspondientes a la tendencia europea, que son del orden de un 5 a 10% menores que los de AASHTO.

DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO (1)

Tabla 13

| Velocidad de Proyecto km/h | Distancia Mínima de Adelantamiento (m) |
|----------------------------|--|
| 30 | 180 |
| 40 | 240 |
| 50 | 300 |
| 60 | 370 |
| 70 | 440 |
| 80 | 500 |
| 90 | 550 |
| 100 | 600 |

(1) Ver Efecto de las Pendientes

Donde sea económico posibilitar el adelantamiento el proyectista procurará dar distancias de visibilidad mayores que las indicadas en la Tabla precedente.

Frecuencia de zonas adecuadas para adelantar

La visibilidad requerida para los adelantamientos es muy superior a la de frenado. Tratar de diseñar un camino que posea a todo lo largo una Da adecuada para adelantar resulta antieconómico, lo que se acentúa a medida que el terreno pasa de llano a ondulado y de este a montañoso.

En el otro extremo, la poca frecuencia de zonas con visibilidad de adelantamiento reduce la capacidad de los caminos bidireccionales, provoca impaciencia en los conductores y hace aumentar el peligro que conllevan las maniobras de adelantamiento arriesgadas.

Los sectores con Visibilidad Adecuada para adelantar deberán distribuirse lo más homogéneamente posible a lo largo del trazado. En un tramo de carretera de longitud superior a 5 Km., emplazando en una topografía dada, se procurará que los sectores con visibilidad adecuada para adelantar, respecto del largo total del tramo, se mantengan dentro de los porcentajes que se indican en Tabla 15.

PORCENTAJE DE LA CARRETERA CON VISIBILIDAD ADECUADA PARA ADELANTAR

Tabla 14

| Tipo de terreno | % Mínimo | % Deseable |
|-----------------|----------|------------|
| LLANO | 45 | ≥ 65 |
| ONDULADO | 30 | ≥ 50 |
| MONTANOSO | 20 | ≥ 30 |

2.1.3.3.- Curvas verticales

Para el diseño geométrico en el alineamiento vertical, se han previsto curvas verticales parabólicas de segundo orden, para asegurar un trazado seguro, buena apariencia estética, comodidad a los usuarios, etc.

La curva a utilizar en el enlace de rasantes será una parábola de segundo grado, que se caracteriza por presentar una variación constante de la tangente a lo largo del desarrollo, además de permitir una serie de simplificaciones en sus relaciones geométricas, que la hacen muy práctica para el cálculo y replanteo, pasando gradualmente entre dos pendientes adyacentes del perfil longitudinal, proporcionando, como mínimo una distancia de visibilidad igual a la distancia mínima de frenado.

El ángulo de deflexión entre dos rasantes que se cortan, queda definido por la expresión:

Ecuación 10

$$\theta_{\text{radianes}} = (i_1 - i_2)$$

¹¹Bajo las circunstancias descritas el desarrollo de la curva vertical de enlace queda dado por:

Ecuación 11

$$L_v = R \times \theta = R(i_1 - i_2)$$

Donde i_1 y i_2 están expresados en m/m

Adoptando la nomenclatura correspondiente a la parábola de segundo grado, el radio R pasa a llamarse "K" que corresponde al parámetro de esta curva.

Finalmente, dentro del rango de aproximaciones aceptadas, el desarrollo de la curva de enlace se identifica con:

Ecuación 12

$$L_v = 2T$$

Siendo $2T$ la proyección horizontal de las tangentes a la curva de enlace.

En definitiva, para todos los efectos de cálculo y replanteo, la longitud de la curva vertical de enlace está dada según medidas reducidas a la horizontal y vale:

¹¹ Cap.2 Pág.68 Diseño Geométrico del Trazado ABC

Ecuación 13

$$2T = K\theta = K|i_1 - i_2|$$

Ecuación 14

$$f = \frac{T^2}{2K} = \frac{T\theta}{4}$$

Ecuación 15

$$Y = \frac{X^2}{2K} = \frac{f}{T^2} - X^2$$

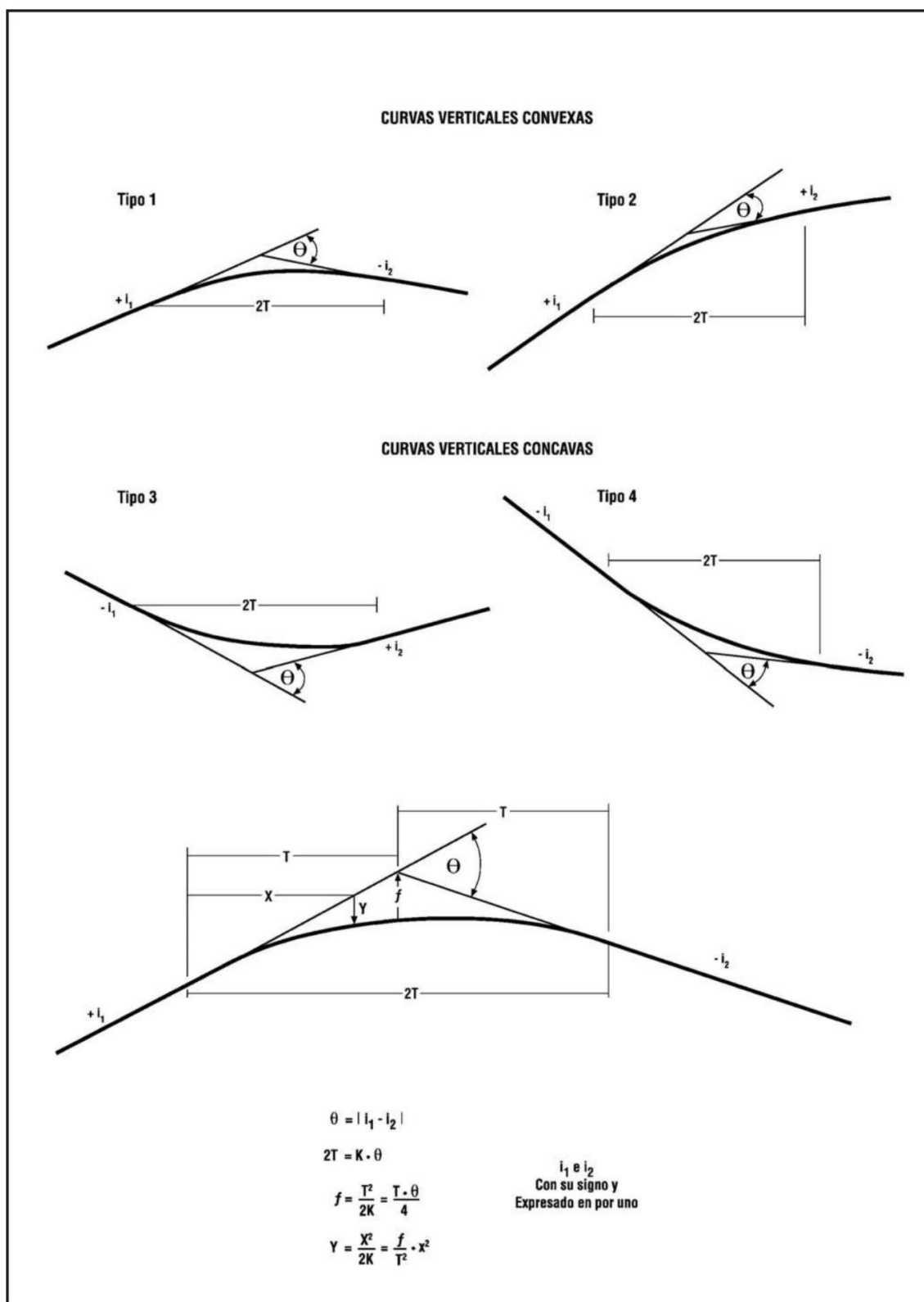


Ilustración 2

Dónde:

$L =$ Longitud de la curva vertical (Proyección horizontal)

$K =$ Parámetro de la parábola en metros. El parámetro es la distancia horizontal requerida para que se produzca un cambio de pendiente de un 1% a lo largo de la curva.

$\theta = [i_1 - i_2]$ = Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes, en m/m.

- ⊕ Las curvas verticales deben asegurar en todo punto del camino la Visibilidad de Frenado, ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales.
- ⊕ En calzadas bidireccionales, si la condiciones lo permiten, el proyectista podrá diseñar curvas de enlace por criterio de visibilidad de adelantamiento, con lo que se asegura sobradamente la visibilidad de frenado.
- ⊕ El cálculo de curvas verticales presenta dos situaciones posibles, a saber:

$$Dv > 2T$$

$$Dv < 2T$$

- ⊕ La presente norma considera como situación general el caso $Dv < 2T$ ya que: representa el caso más corriente, implica diseños más seguros y la longitud de curva de enlace resultante de $Dv > 2T$, normalmente debe ser aumentada por criterio de comodidad y estética.
- ⊕ En curvas verticales convexas o cóncavas del tipo 1 y 3 (Ilustración 1), la Visibilidad de Frenado a considerar en el cálculo del parámetro corresponde a la distancia de frenado de un vehículo circulando a velocidad V^* en rasante horizontal. Ello en razón de que el recorrido real durante la eventual maniobra de detención se ejecuta parte en subida y parte en bajada, con lo que existe compensación del efecto de las pendientes. En curvas verticales del tipo 2 y 4 el tránsito de bajada requiere una mayor distancia de visibilidad de frenado, que resulta significativa para pendientes sobre -6% para velocidades ≤ 60 km/h y -4% , para velocidades ≥ 70 km/h. En estos casos el parámetro de la curva vertical puede calcularse adoptando la distancia de visibilidad corregida, o bien eligiendo el parámetro correspondiente a $V^* + 5$ km/h, que da un margen de seguridad adecuado.

Curvas verticales convexas

¹² Se considera la distancia de frenado sobre un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril. El parámetro queda dado por:

$$K_v = \frac{Df^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

$K_v =$ Parámetro Curva Vertical Convexa (m)

$Df =$ Distancia de Frenado $f(V^*)$ m

¹² Cap.2 Pág.70 Diseño Geométrico del Trazado ABC

$h_1 =$ Altura Ojos del Conductor 1,10 m

$h_2 =$ Altura Obstáculo Fijo 0,20 m

Luego:

$$K_v = \frac{Df^2}{4.48}$$

b. Curvas verticales cóncavas

Se considera la distancia de frenado nocturna sobre un obstáculo fijo que debe quedar dentro de la zona iluminada por los faros del vehículo.

El parámetro queda dado por:

$$K_c = \frac{Df^2}{2(h + Df \operatorname{sen} \beta)}$$

$K_c =$ Parámetro Curva Vertical Cóncava (m)

$Df =$ Distancia de Frenado $f(V_p)$ (m). (Se considera que de noche los usuarios no superan V_p)

$h =$ Altura Focos del Vehículo = 0,6 m

$\beta =$ Ángulo de Abertura del Haz Luminoso respecto de su Eje = 1°

Luego:

$$K_c = \frac{Df^2}{(1.2 + 0.35Df)}$$

En la Tabla 15, se resumen los valores de K_v calculados según la expresión precedente considerando Df para $V^* = V_p$ y los valores adoptados para K_v si $V^* = V_p + 5$ ó $V_p + 10$, los que están minorados dentro de límites de seguridad razonables. Los valores de K_c se calculan sólo en función de V_p , según lo expuesto en el Párrafo 2.1.3.1c, Literal c. Para velocidades de 50 km/h y menores, los valores de la Tabla se han incrementado respecto de los valores teóricos dados por las expresiones de cálculo, ello con el objeto de no sobrepasar las aceleraciones radiales en vertical, máximas recomendables, que experimenten los usuarios.

PARÁMETROS MÍNIMOS EN CURVAS VERTICALES POR CRITERIO DE VISIBILIDAD DE FRENADO

Tabla 15

| Velocidad de Proyecto | CURVAS CONVEXAS Kv | | | CURVAS CÓNCAVAS Kc |
|-----------------------|--------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Vp (km/h) | V* =Vp km/h | V* =Vp + 5 km/h | V* =Vp + 10 km/h | Vp km/h |
| 30 | 300 | 300 | 300 | 400 |
| 40 | 400 | 500 | 600 | 500 |
| 50 | 700 | 950 | 1100 | 1000 |
| 60 | 1200 | 1450 | 1800 | 1400 |
| 70 | 1800 | 2350 | 2850 | 1900 |
| 80 | 3000 | 3550 | 4400 | 2600 |
| 90 | 4700 | 5100 | 6000 | 3400 |
| 100 | 6850 | 7400 | 8200 | 4200 |
| 110 | 9850 | 10600 | 11000 | 5200 |
| 120 | 14000 | 15100 | 16000 | 6300 |

c. Casos especiales curvas verticales cóncavas

Se considera las siguientes situaciones:

i. Zonas con iluminación artificial

En zonas de enlaces o trazados suburbanos en que se cuenta con iluminación artificial adecuada, la condición de visibilidad de frenado nocturna, para curvas verticales cóncavas, podrá ser reemplazada por la condición de comodidad (aceleración radial máxima aceptable).

Kci = Parámetro mínimo curva cóncava con iluminación artificial

V = Velocidad de Proyecto (km/h)

Ar = Aceleración radial aceptada = 0,3 m/s²

Luego:

$$Kci = \frac{V^2}{3.89}$$

PARÁMETROS MÍNIMOS PARA CURVAS CÓNCAVAS EN ZONAS CON ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Tabla 16

| Vp (Km/h) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| Kci | 250 | 400 | 650 | 950 | 1300 | 1700 | 2100 | 2600 | 3200 | 3700 |

Longitud mínima de curvas verticales

Por condición de comodidad y estética, la longitud mínima de las curvas verticales está dada por:

$$2T[m] \geq V[Km/h]$$

Es decir, el desarrollo mínimo de la curva vertical será el correspondiente al número de metros que representa la velocidad de proyecto de la carretera, expresada en Km/h.

En los casos en que la combinación parámetro mínimo ángulo de deflexión θ no cumple con esta condición de desarrollo mínimo, se determinará el parámetro mínimo admisible a partir de:

$$Kci = \frac{2T_{\text{mínimo}}}{\theta} = \frac{Vp}{\theta}$$

Parámetros mínimos por Visibilidad de Adelantamiento

En este caso, a considerar en caminos bidireccionales, tienen relevancia las curvas verticales convexas, ya que en las cóncavas las luces del vehículo en sentido contrario son suficientes para indicar su posición y no existe obstáculo a la visual durante el día a causa de la curva.

$$Ka = \frac{Da^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_5})^2}$$

El parámetro mínimo para curvas convexas por condiciones de adelantamiento está dado por:

Ka = Parámetro Mínimo para Visibilidad Adelantamiento (m)

Da = Distancia de Adelantamiento f(V) (m)

h_1 = Altura Ojos Conductor 1,10 (m)

h_5 = Altura Vehículo en Sentido Contrario 1,2 (m)

Luego:

$$Ka = \frac{Da^2}{9.2}$$

PARÁMETRO MÍNIMO CURVAS VERTICALES CONVEXAS PARA ASEGURAR VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

Tabla 17

| V(kp/h) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 |
|---------|------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ka (m) | 3500 | 630 | 980 | 14900 | 21000 | 27200 | 33900 | 39100 | 45900 |

Los valores de Ka que figuran en la Tabla 17 están calculados para $D_a < 2T$, que será el caso real toda vez que se tenga $V \geq 60$ km/h y $\theta \geq 0,025$. De hecho, para las Visibilidades de Adelantamiento adoptadas en este Manual, los parámetros Ka resultan prohibitivos para $V > 60$ km/h. Eventualmente, para velocidades muy bajas y θ moderados se cumplirá que $D_a > 2T$ y calculando con la expresión correspondiente, se logra reducir el parámetro requerido para asegurar D_a .

Situaciones en que se puede aceptar valores de $2T < V_p$

Tanto para Ka como para Kv, correspondería en rigor calcular el parámetro mediante la fórmula asociada al caso $D_v > 2T$, cuando:

$$\frac{4.6}{D_a} \leq \theta \leq \frac{9.2}{D_a}$$

Para Adelantamiento

$$\frac{2.24}{D_f} \leq \theta \leq \frac{4.48}{D_f}$$

Para Distancia de Frenado

y las expresiones para Ka y Kv, si $D_a > 2T$ ó $D_f > 2T$, son;

$$K_a = \frac{2D_a}{\theta} - \frac{9.2}{\theta^2}$$

Y

$$K_v = \frac{2D_f}{\theta} - \frac{4.48}{\theta^2}$$

Para θ menor que el primer término de la desigualdad, el valor de Ka y Kv se hace negativo, lo que implica que la visual pasa por sobre el vértice definido por las dos alineaciones o sea no se requiere curva vertical por concepto de visibilidad.

En virtud de lo anterior, para el caso de Curvas Verticales por visibilidad de Frenado, si θ es menor que $2,24/D_f$, se aceptará que $2T$ mínimo puede reducirse hasta $0,6V_p$, lo cual crea una transición entre el caso con $\theta \leq 0,005$, que no lleva Curva Vertical y el caso con $\theta \leq 2,24/D_f$, en que se podrá emplear una curva vertical con parámetro $0,6 V_p / \theta \leq K_v \leq V_p / \theta$. Ello evita tener que usar parámetros mucho más grandes que los de norma, para el caso $D_v < 2T$. En todo caso los $2T$ resultantes son adecuados para lograr un acuerdo suave entre las rasantes, dado el moderado valor de θ .

Verificación de visibilidad en curvas verticales

La visibilidad disponible en los casos de curvas horizontales y verticales superpuestas, así como la delimitación de las zonas en que no se dispone de Visibilidad de Adelantamiento, se pueden calcular o verificar mediante los métodos gráficos.

Drenaje en curvas verticales

En curvas verticales convexas del tipo 1 y cóncavas del tipo 3 (Ilustración 1), parámetros superiores a 6.000 m producen en la cúspide o en el fondo de la curva una zona, del orden de 30 m de largo, en que la pendiente longitudinal es inferior a los mínimos especificados para garantizar el escurrimiento longitudinal de las aguas superficiales.

Si no existen soleras, un adecuado bombeo de la calzada permite evacuar las aguas hacia los costados, disponiendo de ellas mediante cunetas o sumideros. En caso de existir soleras deberá recurrirse obligatoriamente a sumideros o bien a frecuentes interrupciones de la solera a fin de evitar el estancamiento de agua sobre la calzada, que se hace particularmente crítico en las curvas cóncavas. Si el sector se desarrolla en corte, el diseño de las cunetas deberá consultar obligatoriamente pendiente, y puede resultar conveniente revestirlas.

Rasante en puentes

La pendiente mínima permisible será del orden 0,15 a 0,20%. En puentes largos se deberá procurar al menos un 0.25%.

2.1.4.- Sección Transversal

La sección transversal típica a adoptarse para una carretera depende casi exclusivamente del volumen de tráfico y del terreno y por consiguiente de la velocidad de diseño más apropiada para dicha carretera. En la selección de las secciones transversales deben tomarse en cuenta los beneficios a los usuarios, así como los costos de mantenimiento. Al determinar los varios elementos de la sección transversal, es imperativo el aspecto de seguridad para los usuarios de la carretera que se diseña.

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

¹³Se llama "plataforma" a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus bermas, los sobreanchos de plataforma (SAP) y su cantero central, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

2.1.4.1.- Ancho de Calzada y Bermas

Anchos de calzada

¹³ Pág.5 Cap.3 La sección Trasversal ABC

La calzada de la carretera se define geométricamente como la superficie que acompaña el trazado de la vía en planta y perfil longitudinal, adoptando diferentes inclinaciones en perfil transversal, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos, según se trate de un sector recto o curvo.

Por esta definición y principalmente por los volúmenes de tráfico y tomando en cuenta los anchos de plataforma se ejecutará en conformidad con las disposiciones vigentes de la Administradora Boliviana de Carreteras.

La selección de la Sección Transversal Tipo de una carretera o camino dentro de las definidas en la Tabla 18, dependerá de la función asignada al proyecto, del tipo de terreno en que ésta se emplaza y del estudio de tránsito que permite anticipar la evolución del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y del Volumen Horario de Diseño (VHD) a lo largo del tiempo, y en particular al horizonte de diseño. Las características geométricas del trazado propuesto permitirán calcular la Capacidad de la vía y los Volúmenes y Niveles de Servicio, que contrastados con las predicciones del volumen de demanda a lo largo del tiempo, permitirán verificar si se cumple la función asignada al proyecto.

Anchos de bermas

Las bermas son las dos franjas en ambos lados de la plataforma adyacente a la calzada, por donde pueden circular temporalmente los vehículos o bien estacionarse. Las bermas abarcan desde el borde de la calzada hasta el fin de la plataforma. Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

Las bermas cumplen cuatro funciones básicas: proporcionan protección al pavimento y a sus capas inferiores, que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad; permiten detenciones ocasionales; aseguran una luz libre lateral que actúa psicológicamente sobre los conductores, aumentando de este modo la capacidad de la vía, y ofrecen espacio adicional para maniobras de emergencia, aumentando la seguridad.

Para que estas funciones se cumplan en la práctica, las bermas deben ser de un ancho constante, estar libres de obstáculos y deben estar compactadas homogéneamente en toda su sección. Para lograr dichos objetivos se consultan los sobreanchos de la plataforma "SAP", que confinan la estructura de las bermas y en los que se instalarán las barreras de seguridad y la señalización vertical.

El ancho normal en Caminos Locales con $V_p=40$ km/h es de 0,5 m, el que en conjunto con el SAP proveen una plataforma de 8,0 m. En Caminos de Desarrollo que normalmente no poseerán pavimento superior, se podrá prescindir de las bermas, existiendo sólo el SAP como complemento para asegurar la estabilidad y adecuada compactación de la calzada.

A medida que la velocidad y los volúmenes de diseño crecen, también deberán hacerlo las bermas exteriores, hasta contemplar un ancho máximo de 2,5 m, que permite la detención en caso de emergencia de los vehículos sin afectar el tránsito de paso.

Cuando existan carriles auxiliares para tránsito lento, o de cambio de velocidad, la berma derecha puede reducirse a 1,5 m si el TPDA > 750 y a 1,0 m para TPDA < 750. En ambos casos se mantendrá inalterado el SAP especificado para la Categoría y V_p de la ruta.

Los anchos normales de las Bermas se dan en la Tabla 18 asociados a la Categoría de la ruta y Vp correspondiente, pudiendo usarse el valor inferior del rango para tránsitos muy moderados en terreno de topografía restrictiva, decisión que deberá adoptarse previa autorización de la Administradora Boliviana de Carreteras.

Tabla 18

| NÚMERO DE CALZADAS Y CATEGORÍA | | | | VELOCIDAD PROYECTO (Km/h) | ANCHO PISTAS a (m) | ANCHO BERMAS | | ANCHO SAP | | ANCHO CANTERO CENTRALM(m) | | | ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE ATP=na+2(be*Se)+M final | | | | |
|--------------------------------|---------------------|--|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------|---|----------|----------|-------|------|
| | | | | | | "bi" INTERIOR (m) | "be" EXTERIOR (m) | "Si" INTERIOR (m) | "Se" EXTERIOR (m) | INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE a 6 | FINAL 6 PISTAS | FINAL- INICIAL 4 PISTAS | 6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE | 4 PISTAS | 2 PISTAS | | |
| CALZADAASUNIDIRECCIONALES | AUTOPISTA | | | 120 | 3.5 | 1.2 | 2.5 | 0.5-0.8 | 1.5 | 13 | 6 | 6 | 35 | 28 | - | | |
| | | | | 100 | 3.5 | 1 | 2.5 | 0.5-0.8 | 1 | 13 | 6 | 6 | 34 | 27 | - | | |
| | | | | 80 | 3.5 | 1 | 2.5 | 0.5-0.8 | 0.8 | 11 | 4 | 4 | 31.6 | 24.6 | - | | |
| | PRIMARIO Y AUTORUTA | | | 100 | 3.5 | 1 | 2.5 | 0.5-0.8 | 1 | 13 | 6 | 6 | 34 | 27 | - | | |
| | | | | 90 | 3.5 | 1 | 2.5 | 0.5-0.8 | 1 | 12 | 5 | 5 | 33 | 26 | - | | |
| | | | | 80 | 3.5 | 1 | 2 | 0.5-0.8 | 0.5-0.8 | 10 | 3 | 3 | 29 | 22 | - | | |
| | COLECTOR | | | 80 | 3.5 | 1 | 2 | 0.5-0.8 | 0.5-0.8 | 10 | 3 | 3 | 29 | 22 | - | | |
| | | | | 70 | 3.5 | 0.6-0.70 | 1.5 | 0.5-0.8 | 0.5-0.8 | 9 | 2 | 2 | 27 | 20 | - | | |
| | | | | 60 | 3.5 | 0.6-0.70 | 1 | 0.5-0.8 | 0.5-0.8 | 9 | 2 | 2 | 26 | 19 | - | | |
| CALZADA BIDIRECCIONAL | PRIMARIO | | | 100-90 | 3.5 | - | 2.5 | - | 1 | | | | | | 14 | | |
| | COLECTOR | | | 80 | 3.5 | - | 2 | - | 0.5-0.8 | | | | | | | 12 | |
| | | | | 80 | 3.5 | - | 1.5 | - | 0.5-0.8 | | | | | | | | 11 |
| | LOCAL | | | 70 | 3.5 | - | 1.0-1.5 | - | 0.5-0.8 | | | | | | | 10-11 | |
| | | | | 60 | 3.0-3.50 | - | 0.5-1.0 | - | 0.5-0.8 | | | | | | | | 8-10 |
| | | | | 50 | 3.0-3.50 | - | 0.5-1.0 | - | 0.5 | | | | | | | | 8-10 |
| | | | | 40 | 3 | - | 0.0-0.5 | - | 0.5 | | | | | | | | 7-8 |
| | DESARROLLO | | | 30 | 2.0-3.0 | - | 0.0-0.5 | - | 0.5 | | | | | | | 5-6 | |

Fuente: Tabla3.1.1 Pág. 4 Cap. 3 La sección Transversal ABC

2.1.4.2.- Pendiente Transversal de la Calzada y Bermas

La pendiente transversal de la calzada debe ser lo suficiente para asegurar un adecuado escurrimiento de las aguas superficiales, para evitar que la infiltración afecte la estructura del pavimento y para disminuir las posibilidades de formación de láminas de agua, peligrosas durante la circulación de los vehículos.

Bombeos

En tramos rectos o en aquellos cuyo radio de curvatura permite el contraperalte, las calzadas deberán tener, con el propósito de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo, que depende del tipo de superficie de rodadura y de la Intensidad de la Lluvia de 1 Hora de Duración con Período de Retorno de 10 Años (I^1_{10}) mm/h, propia del área en que se emplaza el trazado.

La Tabla 19 especifica estos valores indicando en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá moverse, afinando su elección según los matices de la rugosidad de las superficies y de los climas imperantes.

BOMBEOS DE LA CALZADA

Tabla 19

| Tipo de Superficie | Pendiente Transversal | |
|----------------------------|---|---|
| | (I^1_{10}) ≤ 15 mm/h ⁽¹⁾ | (I^1_{10}) > 15 mm/h ⁽¹⁾ |
| Pav. de Hormigón o Asfalto | 2,0 | 2,5 |
| Tratamiento Superficial | 3,0 ⁽²⁾ | 3,5 |
| Tierra, Grava, Chancado | 3,0 – 3,5 ⁽²⁾ | 3,5 – 4,0 |

(1)

Determinar mediante estudio hidrológico

(2)

En climas definitivamente desérticos, se pueden rebajar los bombeos hasta un valor límite de 2,5%,

El bombeo se puede dar de varias maneras, dependiendo del tipo de plataforma y de las conveniencias específicas del proyecto en una zona dada.

Bombeo en calzadas bidireccionales

Se puede dar de dos maneras. La primera es aquella que contempla el punto alto en el centro de la calzada, y una sección transversal con vertiente a dos aguas, con la pendiente de la Tabla 19

Esta sección es la más conveniente desde el punto de vista del drenaje, pues minimiza las cantidades de agua que llegan a cada uno de los bordes de la calzada.

Sin embargo, la tendencia actual en el diseño de equipos de pavimentación hace cada vez más frecuente el uso de bombeos a una sola agua, con uno de los bordes de la calzada por encima del otro. Además, si el proyecto consulta en el mediano plazo la construcción de la segunda calzada, transformándose así en una calzada unidireccional, se deberá preferir la solución 2.

Por otra parte, esta manera de resolver las pendientes transversales mínimas puede ser particularmente útil en el caso de tramos rectos de poco desarrollo entre curvas del mismo sentido, en el que resulta engorroso ejecutar el doble cambio desde el peralte hasta el bombeo a dos aguas y viceversa.

Pendiente transversal de las bermas

En Caminos y Carreteras con calzada pavimentada, ya sea con Hormigón, Asfalto o Tratamiento Superficial, las bermas tendrán la misma pendiente transversal que la calzada, ya sea que ésta se desarrolle en recta o en curva. Para tramos en recta la pendiente transversal o bombeo corresponde a la indicada en la Tabla 19.

Pendiente transversal del SAP

La Tabla 20 establece la pendiente transversal del SAP (is %), según las distintas situaciones posibles, tanto para calzadas bidireccionales como para las unidireccionales, y en estas últimas, distinguiendo entre SAP exterior e interior.

PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP

Tabla 20

| SIEMPRE | PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP |
|---|--|
| EN RECTA | is SIEMPRE = - 10% |
| ZONA TRANSICIÓN PERALTE | para $b \leq e \leq 0,0$; is = -10% |
| EXTREMO ALTO DE LA PLATAFORMA | Para $0,0 < e \leq 3\%$; is = - (10 - 2e)% para $e > 3\%$; is = - 4% |
| EXTREMO BAJO DE LA PLATAFORMA | para todo e ; is = - 10% |
| El is del SAP interior de las calzadas unidireccionales será de - 8%, salvo para e > - 4% en que is = - 4%. | |

2.1.4.3.- Superficie de Rodadura.

Se define como superficie de rodadura, a la capa de la estructura del pavimento que tiene contacto directo con las ruedas del vehículo.

El espesor total de la estructura del pavimento, influye en las cantidades de movimientos de tierras.

2.1.4.4.- Ensanchamiento de calzada en curvas (Sobreancho) SAP

La plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la berma sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por falta de confinamiento y riesgo por pérdida de estabilidad del equipo de compactación autopropulsado. Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor que 0,5 m, el ancho adicional adyacente a la berma deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las bermas.

En plataformas en corte, si la cuneta es revestida, se podrá prescindir del SAP como parte de la sección transversal, no obstante ello, al extender las capas de subbase y base se colocará inicialmente un sobreancho

de 0,5 m para poder compactar adecuadamente el borde exterior de las bermas, material que se retira posteriormente para conformar la cuneta. Si la cuneta no lleva revestimiento la sección transversal debe considerar un SAP de 0,5 m, para separar las capas estructurales de las aguas que escurren por la cuneta.

Si la plataforma en terraplén consulta la instalación de barreras de seguridad, salvo que se trate de Caminos Locales o de Desarrollo con $V_p \leq 50$ km/h, el ancho mínimo del SAP será de 0,8 m, con el objeto de anclar el poste a 0,2 m del extremo exterior del SAP y no invadir la berma con la barrera.

En Carreteras con $VP \geq 90$ km/h el SAP será mayor que el mínimo para aumentar el espacio disponible para la señalización vertical, ya que el tamaño de las señales aumenta con la Velocidad de Proyecto. (Ver anchos del SAP en la Tabla 18).

Es necesario el ensanchamiento de la calzada en curva, para proveer condiciones de seguridad comparables con las de los tramos rectos.

El ensanchamiento es necesario en ciertas curvas por una de las siguientes razones:

1.- El vehículo o camión ocupa un ancho mayor debido a que, al girar sobre una curva las ruedas traseras generalmente siguen una trayectoria interior a la seguida por las delanteras.

2.- Los conductores experimentan dificultades en mantener sus vehículos en el centro del carril.

El cálculo del sobreancho depende; de las características y dimensiones del vehículo de proyecto, que se ha adoptado para el diseño geométrico, de la velocidad directriz y del radio de la curva horizontal.

Sobreancho en curvas circulares

En curvas de radio pequeño y mediano, según sea el tipo de vehículos comerciales que circulan habitualmente por la carretera o camino, se deberá ensanchar la calzada con el objeto de asegurar espacios libres adecuados (huelgas), entre vehículos que se cruzan en calzadas bidireccionales o que se adelantan en calzadas unidireccionales, y entre los vehículos y los bordes de las calzadas. El sobreancho requerido equivale al aumento del espacio ocupado transversalmente por los vehículos al describir las curvas más las huelgas teóricas adoptadas, (valores medios). El sobreancho no podrá darse a costa de una disminución del ancho de la Berma o el SAP correspondiente a la Categoría de la ruta.

Las huelgas teóricas consideradas para los vehículos comerciales de 2,6 m de ancho, en recta y en curva, según el ancho de una calzada de dos carriles, son:

HUELGAS TEORICAS

Tabla 21

| Calzada de 7,0 m | | Calzada de 6,0 m | |
|--|------------------------|-------------------------|------------------------|
| En Recta | En Curva Ensanchada | En Recta | En Curva Ensanchada |
| h1 0,5 m h2 0,4 m h2 ext. 0,4 m | 0,6 m 0,4 m 0,0 m | 0,3 m 0,1 m 0,1 m | 0,45 m 0,05 m 0,0 m |

Siendo: h_1 = Huelga entre cada vehículo y el eje demarcado.

h_2 = Huelga entre la cara exterior de los neumáticos de un vehículo y el borde exterior del carril por la que circula (en recta) o de la última rueda de un vehículo simple o articulado y el borde interior de la calzada en curvas.

$h_2 \text{ ext}$ = Huelga entre el extremo exterior del parachoque delantero y el borde exterior de la calzada, $h_2 \text{ ext} \approx h_2$ en recta y $h_2 \text{ ext} = 0$ en curvas ensanchadas.

Las huelgas en curvas ensanchadas son mayores en calzadas de 7,0 m respecto de las 6,0 m, no sólo por el mayor ancho de calzada, sino que por las mayores velocidades de circulación que en ellas se tiene y por el mayor porcentaje de vehículos comerciales de grandes dimensiones.

El vehículo tipo (i) se seleccionará considerando el mayor vehículo comercial para el cual se prevea un flujo mayor o igual que el indicado a continuación, en cualquier época del año a la puesta en servicio de la obra. Se considerará el flujo del vehículo (i) más el de aquellos de mayor tamaño que no superaban el límite

Calzada Bidireccional: Flujo ≥ 15 Veh Tipo i/día en ambas direcciones

Calzadas Unidireccionales: Flujo ≥ 40 Veh Tipo i/día en cada dirección

Como mínimo se considerarán ensanches para dos vehículos tipo con $L_0 = 9,5$ m, según se define en la Tabla 22. Según sean las características del trazado y función que preste la ruta, la Administradora Boliviana de Carreteras podrá definir el Vehículo Tipo a considerar independientemente de la clasificación según flujos estipuladas precedentemente, así como para dimensiones diferentes de las señaladas en la Tabla 22.

El cálculo detallado del sobreebanco en curvas circulares de carreteras y caminos se desarrolló mediante el análisis geométrico de las trayectorias que describen los diferentes vehículos, considerando el ancho de la calzada y las huelgas definidas en el Literal a; los resultados obtenidos quedan bien representados por las expresiones simplificadas que se presentan en la Tabla 22, columna E(m), las que permiten calcular el Ensanche Total requerido en una calzada de dos carriles (bidireccional o unidireccional) con anchos de 7,0 y 6,0 m, empleando los parámetros de cálculo "Lo" para unidades simples (Camiones y Buses); L_1 y L_2 para unidades articuladas (Semitrailer) y el Radio R de la curva.

ENSANCHE DE LA CALZADA E(M) (PERMITE EL CRUCE DE 2 VEHICULOS DEL MISMO TIPO MANTENIENDO HUELGAS H1 Y H2)

CALZADA EN RECTA 7,0 m (n = 2) 0,5 m \leq E \leq 3,0 m E = e.int + e.ext h1 = 0,6 m h2 = 0,4 m

Tabla 22

| TIPO DE VEHÍCULO (Lt en m) | PARÁMETRO DE CÁLCULO (m) | E (m) | e-int (m) | e-ext (m) | RADIOS LÍMITE (m) |
|--|--------------------------|-------------------|-----------|-----------|----------------------|
| Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0 | $L_0 = 9,5$ | $(L_0^2/R) - 0,2$ | 0,65 E | 0,35 E | $30 \leq R \leq 130$ |

| | | | | | |
|---|---------------------|----------------------------|--------|--------|----------------------|
| Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0* | Lo = 10,5 Lo = 10,6 | $(Lo^2/R) - 0,2$ | 0,65 E | 0,35 E | $35 \leq R \leq 160$ |
| Semitrailer Lt = 16,4 | L1 = 5,6 L2 = 10,0 | $((L1^2 + L2^2)/R) - 0,20$ | 0,70 E | 0,30 E | $45 \leq R \leq 190$ |
| Semitrailer Lt = 18,6* | L1 = 5,6 L2 = 12,2 | | | | $60 \leq R \leq 260$ |
| Semitrailer Lt = 22,4* | L1 = 5,6 L2 = 15,5 | | | | $85 \leq R \leq 380$ |

Si e_{int} calculado $\leq 0,35$ m, se adopta $e_{ext} = 0$ y se da todo el ensanche E en e_{int} .

Lt = Largo Total del Vehículo * Indica largo máximo legal

Unidades Simples (Camiones y Buses): L_o = Distancia entre parachoques delantero y último eje trasero

Semitrailer: L_1 = Distancia entre parachoques delantero y último eje camión tractor L_2 = Distancia entre pivote mesa de apoyo y último eje del tándem trasero

Camión con Acoplado: El conjunto con $L_t = 20,5$ m (máx legal) puede operar en los ensanches diseñados para el Semitrailer con $L_t = 18,6$ m y cualquier conjunto con $L_t \leq 19,5$ m puede hacerlo en los diseños para el Semitrailer con $L_t = 16,4$ m.

Sobrancho en curvas con arco de enlace

Los ensanches requeridos se determinarán según lo expuesto en sobrancho para curvas circulares

La longitud normal para desarrollar el sobrancho será de 40 m. Si el arco de enlace es mayor o igual a 40 m, el inicio de la transición se ubicará 40 m antes del principio de la curva circular. Si el arco de enlace es menor de 40 m el desarrollo del sobrancho se ejecutará en la longitud de arco de enlace disponible.

El sobrancho se generará mediante una variación lineal con el desarrollo:

$$e_n = \frac{E}{L} \ln$$

Siendo:

E = Ensanche total calculado según Tabla 22

e_n = Ensanche parcial correspondiente a un punto distante " \ln " metros desde el origen de la transición

L = Longitud Total del desarrollo del sobrancho, dentro de la clotoide.

La ordenada " e_n " se medirá normal al eje del trazado en el punto de abscisa " \ln " y el borde interior de la calzada distará del eje $(a+e_n)$, siendo " a " el ancho normal de un carril en recta.

2.1.4.5.- Taludes de corte y terraplén

De acuerdo al estudio Geológico y geotécnico se utilizaron para los taludes de corte el talud de 1:3 (H:V).

En cuanto al talud de terraplén se adoptó 1.5:1 (H:V) como talud general. Estos taludes son estables para todos los tipos de suelos del tramo, fueron establecidos en consideración al factor de seguridad de operación de los vehículos.

RESUMEN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

ANCHO DE CALZADA =7.30 M ANCHO DE BERMA=1,5M

| CATEGORÍA | | SECCION TRANSVERSAL | | VELOCIDAD DE PROYECTO [Km/h] | CÓDIGO TIPO |
|-----------|-------|---------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| | | N° CARRILES | N° CALZADAS | | |
| PRIMARIO | [I B] | 2 BD | 1 | 80 | P (2)-80 |

PERALTE MÁXIMO

| | e_{\max} | f |
|-----------------------------|------------|----------------|
| Carreteras Vp 80 a 120 km/h | 8% | 0,193 – V/1134 |

RADIO MÍNIMO

| CAMINOS COLECTORES-LOCALES-DESARROLLO | | | | |
|--|------------|-----------|----------------|--------|
| Vp Km/h | e_{\max} | f | R_{\min} [m] | |
| | | | Calculado | Diseño |
| CARRETERAS-AUTOPISTAS AUTORRUTAS-PRIMARIOS | | | | |
| 80 | 8.00% | 0.1224533 | 248.91523 | 250 |

PENDIENTE MÁXIMA ADMISIBLE

| CATEGORÍA | VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h) | | | | | | | | | |
|-----------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| | ≤30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| Primario | - | - | - | - | - | 6 | 5 | 4,5 | - | - |

Se asume como pendiente longitudinal maxima en 7%

PARAMETROS K MÍNIMOS

| Velocidad de Proyecto | CURVAS CONVEXAS K_v | | | CURVAS CÓNCAVAS K_c |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Vp (km/h) | $V^* = V_p$ km/h | $V^* = V_p + 5$ km/h | $V^* = V_p + 10$ km/h | Vp km/h |
| 80 | 3000 | 3550 | 4400 | 2600 |

| NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORÍA | VELOCIDAD PROYECTO (Km/h) | ANCHO PISTAS a (m) | ANCHO BERMAS | | ANCHO SAP | |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | "bi" INTERIOR (m) | "be" EXTERIOR (m) | "Si" INTERIOR (m) | "Se" EXTERIOR (m) |
| PRIMARIO | 80 | 3.5 | - | 2 | - | 0.5-0.8 |

Se asume ancho de carril a 3.65 m y ancho de berma 1.50 a cada lado de la calzada

BOMBEO

| Tipo de Superficie | Pendiente Transversal | |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | (I' 10) ≤ 15 mm/h (1) | (I' 10) > 15 mm/h (1) |
| Pav. de Hormigón o Asfalto | 2,0 | 2,5 |

Se asume como pendiente transversal 2%

2.2. DISEÑO DE PAVIMENTO

Todo país entre los gastos más importantes que presenta, son las inversiones en vías de comunicación, es así que el diseño es la parte más crítica en un proyecto de pavimentos por su efecto en el costo inicial y en la vida útil. Un sistema de pavimentos incluye una gran extensión de vías y cualquiera que sea el tamaño de un proyecto, se deben realizar las siguientes actividades, con sus costos asociados: Planificación, Diseño, Construcción; y, Rehabilitación.

El manejo eficiente de los proyectos, requiere del enfoque global e integrado de estas actividades tantas por el aumento de los costos de construcción, cuantas por el mayor uso de las vías.

Se debe reconocer que el pavimento es el producto final de la red vial y afecta directamente la vida de los usuarios, por lo que el objetivo de su administración debe ser optimizar el producto con relación a los costos. El mantenimiento de una red vial es oneroso y la disponibilidad de fondos baja, esto hace aún más crítica la necesidad de un sistema eficiente de administración.

¹⁴El patrimonio vial es uno de los mayores de cualquier país, el primero o segundo entre las inversiones públicas asciende a varios miles o decenas de miles de millones de dólares.

AHORROS COSTOS OPERACIÓN

| Casos -HDM4 | AR-AB | | AB-AM | |
|-------------------|-------|-----|-------|-----|
| IRI | 5,2 | 2,3 | 7,6 | 2,3 |
| Unidad: | \$ | % | \$ | % |
| Automóvil | 4.6 | 4.5 | 11 | 10 |
| Bus | 40 | 14 | 89 | 32 |
| Camión Simple | 18 | 12 | 36 | 23 |
| Camión Articulado | 42 | 11 | 84 | 23 |

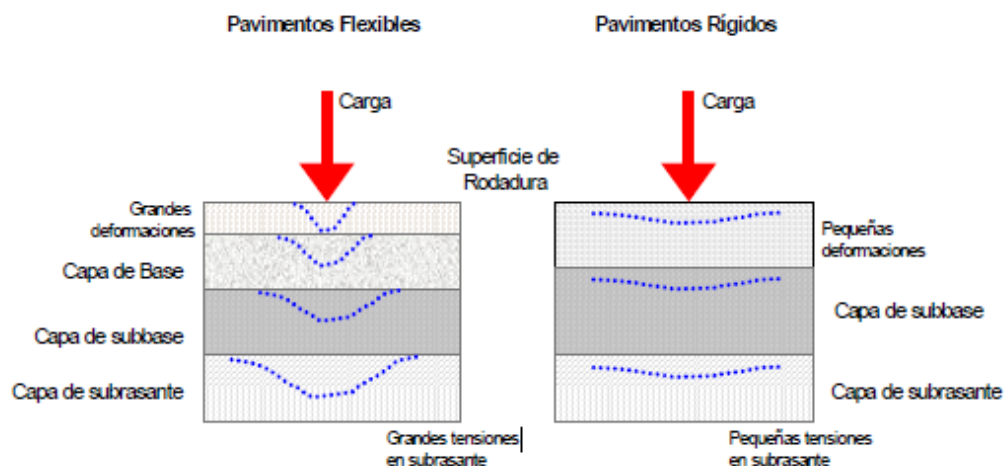
A: pavimento asfalto B: bueno R: regular M: malo

Tipos de pavimento

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la siguiente figura:

¹⁴ 8° Jornada internacional del asfalto 2009

ESQUEMA DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS

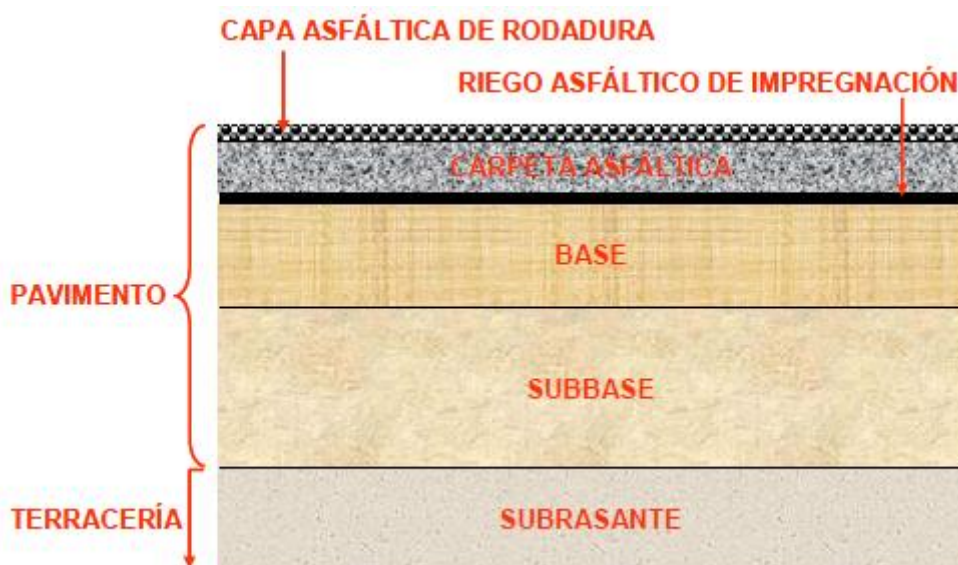


En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

La estructura típica de un pavimento asfáltico (firme), desde la superficie de la subrasante (explanada) y la superficie de rodadura, consiste en una subbase, una base, un riego asfáltico de impregnación, la carpeta asfáltica que tiene capacidad estructural para resistir las cargas del tránsito y una capa asfáltica de rodadura, cuya finalidad principal es mejorar la seguridad y comodidad en la circulación de los vehículos.



2.2.1. Introducción

Los primeros métodos de Diseño de Pavimentos se remontan a tiempos anteriores a la década del 20. En ese tiempo los diseños se hacían en base a la experiencia y al sentido común del proyectista, por lo que eran métodos poco confiables.

El método a emplearse está desarrollado en la publicación AASHTO "Guide for Design of Pavement Structures". En la guía se incluye el diseño para pavimentos flexibles y de concreto. Esta primera guía fue editada en 1962, fue evaluada y revisada en 1972 y 1981. Entre 1984 y 1985, el Subcomité en Diseño de Pavimentos y consultores revisaron la guía en vigencia, dando como resultado nacimiento de la "AASHTO" (1986) con muchas variaciones con respecto a las versiones anteriores. En 1993 se publica una nueva versión de la guía, pero sin cambios en lo que concierne el diseño de pavimentos rígidos.

2.2.2. Función del Pavimento

La performance o comportamiento de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural medible a lo largo de su período de diseño.

La capacidad funcional comprende:

- ⊕ Calidad aceptable de rodadura.
- ⊕ Adecuada fricción superficial.
- ⊕ Geometría apropiada para seguridad.
- ⊕ Aspecto estético.

La Capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

La capacidad estructural y funcional están íntimamente relacionadas. En efecto, un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución de su capacidad funcional ya que hay un incremento en rugosidad, ruido, y aún riesgo para los vehículos y ocupantes que lo transiten. No obstante hay otros tipos de fallas estructurales que pueden progresar sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural.

El propósito estructural de un pavimento es distribuir las cargas de las llantas, aplicadas en áreas pequeñas, en áreas más grandes sobre el suelo de fundación para prevenir esfuerzos excesivos.

La funcionalidad está dirigida a los requerimientos de los usuarios de tener buenas condiciones de viaje.

La seguridad en un pavimento está relacionada a la interacción entre la llanta y el pavimento. En otras palabras que tan resbalosa es la superficie. El factor de Seguridad no se toma en cuenta en el diseño de un pavimento, sin embargo se debe considerar en la construcción.

2.2.3. Factores de Diseño

Los factores más importantes para el diseño de las capas de un pavimento son las siguientes:

- ⊕ Tráfico.
- ⊕ Propiedades de la Subrasante.
- ⊕ Materiales de Construcción.
- ⊕ Condiciones Climáticas, Ambientales y Drenaje.

Para el propósito de este estudio se realizaron estudios previos de Suelos y Materiales, Tráfico e Hidrología. Obteniendo los datos necesarios para el diseño del pavimento.

Método de la AASHTO para el Diseño de la Sección Estructural de los Pavimentos.

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles y rígidos de carreteras. En el caso de los pavimentos flexibles, el método establece que la superficie de rodamiento se resuelve solamente con concreto asfáltico y tratamientos superficiales, pues asume que tales estructuras soportarán niveles significativos de tránsito (mayores de 50,000 ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton durante el período de diseño), dejando fuera pavimentos ligeros para tránsitos menores al citado, como son los caminos revestidos o de terracería.

Los procedimientos involucrados en el método de diseño, versión 1993, están basados en las ecuaciones originales de la AASHO que datan de 1961, producto de las pruebas en Ottawa, Illinois, con tramos a escala natural y para todo tipo de pavimentos. La versión de 1986 y la de 1993 se han modificado para incluir factores o parámetros de diseño que no habían sido considerados y que son producto de la experiencia adquirida por ese organismo entre el método original y su versión más moderna.

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un "número estructural SN" para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural SN requerido, el método proporciona la ecuación general, que involucra los siguientes parámetros:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\text{Log}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32M_r - 8.07$$

En donde:

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

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

S_0 = Desviación estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad.

M_r = Módulo de resiliencia de la subrasante.

SN = Número Estructural

2.2.4. Características del Tráfico

El tráfico es un factor básico en el diseño de un pavimento, su volumen acumulado define los espesores del proyecto y la mayor la mayor o menor precisión que se obtenga del mínimo influirá en su vida útil.

Para el cálculo del tránsito, el método actual contempla los ejes equivalentes sencillos de 18,000 lb (8.2 ton) acumulados durante el período de diseño, por lo que no ha habido grandes cambios con respecto a la metodología original de AASHTO.

La ecuación siguiente puede ser usada para calcular el parámetro del tránsito W_{18} en el carril de diseño.

Ecuación 16

$$W_{18} = D_D \times D_L \times w_{18}$$

W_{18} = Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 ton, en el carril de diseño.

D_D = Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados.

w_{18} = Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones.

D_L = Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomiendan los siguientes valores:

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL

Tabla 23

| NUMERO DE CARRILES EN CADA SENTIDO | PORCENTAJE DE W_{18} EN EL CARRIL DE DISEÑO |
|------------------------------------|---|
| 1 | 100 |
| 2 | 80-100 |
| 3 | 60-80 |
| 4 ó mas | 50-75 |

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año, el diseñador deberá estimar con base en la tasa de crecimiento anual y el período de diseño en años, el total de ejes equivalentes

acumulados y así contar con un parámetro de entrada para la ecuación general o para el nomograma.

2.2.4.1. Composición del Tráfico

Para el diseño de estructuras de pavimento es necesario conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para el efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como: puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- ⊕ Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
- ⊕ Determinar el número de vehículos que transitan en cierta zona o que circulan dentro de ella.
- ⊕ Evaluar índices de accidentes.
- ⊕ Servir de base para la clasificación de caminos.
- ⊕ Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- ⊕ Proyectar sistemas de control de tránsito.
- ⊕ Elaborar sistemas de mantenimiento.
- ⊕ Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- ⊕ Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el tránsito medio diario general y el tránsito medio diario de camiones. Estos se pueden obtener al efectuar censos o aforos de tránsito en el lugar de la construcción o si es nueva, mediante censos o aforos de tránsito en lugares próximos.

Existen mapas de volumen de tránsito que muestran en determinados lugares el número de vehículos diarios, pero es más exacto el efectuar el aforo o censo en un lugar específico; es necesario que al efectuar una evaluación de tránsito para una carretera determinada, se tome en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de tomar en cuenta hasta donde sea posible los futuros desarrollos de complejos habitacionales, industriales, turísticos, agrícolas y proyectos de carácter regional, que contribuirán más adelante con el tiempo a incrementar el flujo vehicular de la carretera proyectadas.

El tránsito cambia según el día de la semana, cambia según la semana del mes, cambia según la estación o época del año, cambia según los días de descanso o asueto, etc. Por lo que es necesario hasta donde sea posible, contar con estadísticas de periodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura de pavimento.

Del estudio de tráfico realizado, se obtiene la siguiente información para el tráfico en ambas direcciones, que se ve en el siguiente cuadro:

Composición del tráfico el año de proyección 2006

| Punto de Aforo ENTRE RÍOS | Tipo de Vehículo | | | | | | | | | | | Total |
|------------------------------|------------------|------------|-----------|------------|---------|--------|----------|-----------------|----------------|-----------------------|--------------|-------|
| | Liviano | Utilitario | | | Buses | | Camiones | | | | | |
| | Jeeeps, Autos | Camioneta | Minibuses | Microbuses | Mediano | Grande | Mediano | Grande (2 ejes) | Grande (3ejes) | Semirremolque (4ejes) | Con Remolque | |
| Total Semana | 72,5 | 152,5 | 7,5 | 2,5 | 117,5 | 25 | 96 | 51 | 33 | 15 | 0 | 573 |
| Tráfico Promedio Diario | 14,5 | 23 | | | 20 | | 28 | | | | | |
| | | | | | | | 49.231% | 26.154% | 16.923% | 7.692% | 0 | |

| TIPO VEHÍCULO | PUNTO DE AFORO Entre Ríos | PORCENTAJE |
|---------------|------------------------------|------------|
| Livianos | 15 | 17.4 |
| Utilitarios | 23 | 26.7 |
| Buses | 20 | 23.3 |
| Camiones | 28 | 32.6 |
| TOTAL | 86 | 100 |

| AÑO | TPDA Ruta N° 11 Entre Ríos |
|------|-------------------------------|
| 2003 | 166 |
| 2004 | 172 |
| 2005 | 178 |
| 2006 | 184 |

2.2.5. Periodo de diseño

El tráfico es un factor básico en el diseño de un pavimento, su volumen acumulado define los espesores del proyecto y la mayor o menor precisión que se obtenga del mínimo influirá en su vida útil.

| TIPO DE CARRETERA | PERIODO DE DISEÑO |
|---|-------------------|
| Urbana con altos volúmenes de tránsito | 30-50 años |
| Interurbana con altos volúmenes de tránsito | 20-50 años |
| Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito | 15-25 años |
| Revestidas con bajos volúmenes de tránsito | 10-20 años |

El periodo de diseño ha sido definido para cada una de las alternativas de la siguiente manera:

2011 Periodo de construcción

2012– 2032 Periodo en servicio con 20 años

2.2.6. Determinación de Ejes equivalentes Acumulados

PROYECCIÓN TPDA AGRUPADO

Estación: C-1: ENTRE RÍOS

| AÑO | TPDA | TPDA PROYECTADO | VALORES DE TRANSITO EQUIVALENTE DIARIO ambas direcciones |
|------|------|-----------------|--|
| 2003 | 166 | | 158.238683 |
| 2004 | 172 | | 163.958154 |
| 2005 | 178 | | 169.677624 |
| 2006 | 184 | | 175.397095 |
| 2007 | | 190 | 181.116565 |
| 2008 | | 196 | 186.836036 |
| 2009 | | 202 | 192.555506 |
| 2010 | | 208 | 198.274977 |
| 2011 | | 214 | 203.994447 |
| 2012 | | 220 | 209.713918 |
| 2013 | | 226 | 215.433388 |
| 2014 | | 232 | 221.152859 |
| 2015 | | 238 | 226.872329 |
| 2016 | | 244 | 232.5918 |
| 2017 | | 250 | 238.31127 |
| 2018 | | 256 | 244.030741 |
| 2019 | | 262 | 249.750211 |
| 2020 | | 268 | 255.469682 |
| 2021 | | 274 | 261.189152 |
| 2022 | | 280 | 266.908623 |
| 2023 | | 286 | 272.628093 |
| 2024 | | 292 | 278.347564 |
| 2025 | | 298 | 284.067034 |
| 2026 | | 304 | 289.786504 |
| 2027 | | 310 | 295.505975 |
| 2028 | | 316 | 301.225445 |
| 2029 | | 322 | 306.944916 |
| 2030 | | 328 | 312.664386 |
| 2031 | | 334 | 318.383857 |
| 2032 | | 340 | 324.103327 |
| | | Σ | 5605.08107334526 |

$$W_{18\text{acumulado}_s\text{ en}_\text{ambas}_\text{direcciones}} = 365_{\text{días/año}} \times \sum_{j=1}^n N_j = 2045854.592$$

Con la ecuación que se presenta a continuación:

$$W_{18\text{carril}_\text{de}_\text{diseño}_\text{normal}} = D_D \times D_L \times W_{18}$$

$$D_D = 50\%$$

$$D_L = 100\%$$

$$= 0.5 * 1 * 2069923 \Rightarrow W_{18} = 1034962$$

2.2.7. Consideraciones sobre el Estudio de Suelos

Los datos del estudio de suelos realizados por la institución son la base fundamental para el diseño, los cuales definen las características principales de las partes componentes de un Tratamiento Superficial Triple.

Para el diseño de la subrasante, teniendo en cuenta la variabilidad de los CBR's en toda la carretera, se ha trabajado dentro del rango de $4 < \text{CBR} \leq 10\%$ y para los CBR's que se encuentren por debajo de este rango se prevé un mejoramiento de subrasante de 30 cm. de espesor.

La selección de los tipos de materiales que constituyen el paquete Estructural del pavimento es de la importancia vital, pues afecta directamente el costo final de la obra, principalmente debido a las distancias de transporte involucradas. Así, la adopción de los materiales se buscó considerar la mejor forma logística que no afectara la calidad ni la durabilidad de la estructura del pavimento.

Para el diseño del paquete Estructural fue elaborado en base a la Guía de Diseño de Estructuras de Pavimentos de la AASHTO, se presenta una breve explicación de cada uno de ellos a continuación:

2.2.8. Serviciabilidad

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otra palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones).

A la diferencia entre estos dos valores se le conoce como la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) o sea el índice de serviciabilidad presente (Present Serviciability Index).

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es un valor de apreciación con el cual se valúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura de un pavimento; actualmente para medir este deterioro se utiliza el IRI, Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index), para lo cual se utiliza un equipo sofisticado montado en un vehículo, el que al pasar sobre la superficie de una carretera, va midiendo los altibajos y los suma, por lo que al final se obtiene un valor acumulado en metros por kilómetro (m/km) o pulgada por milla (plg/milla). Para correlacionar el Índice de Serviciabilidad y el IRI, se utiliza la siguiente fórmula:

$$PSI = 5 \times e^{-0,0041 \times IRI}$$

La serviciabilidad de un pavimento está definida como la habilidad de servir a tráfico de alto volumen y alta velocidad. Se mide por medio del Índice de Serviciabilidad Actual "PSI", que es una escala que va desde el 5 (camino perfecto) hasta 0 (camino imposible)

No se toma en cuenta la pérdida de serviciabilidad por el hinchamiento debido a que se planea la remoción del suelo expansivo.

2.2.8.1. Serviciabilidad Inicial

Se llama Serviciabilidad Inicial "po" al valor de PSI que tendrá un pavimento inmediatamente luego de la construcción. En la mayoría de los casos la Serviciabilidad Inicial debe ser mayor a 4. Según la AASHTO tenemos:

Pavimentos Flexibles: **po = 4.2**

2.2.8.2. Serviciabilidad Terminal

Serviciabilidad Terminal "pt" es el valor de PSI mínimo tolerable de un pavimento. Cuando la Serviciabilidad de un pavimento alcanza este valor, se requiere rehabilitación. Para volúmenes bajos de tránsito la AASHTO recomienda un valor de **pt = 2.5**

Se ha tomado una serviciabilidad inicial de 4.2 y serviciabilidad final de proyecto de 2.5, con una diferencia entre ambos, conforme recomienda la Guía de la AASHTO.

Pérdida o diferencia entre índices de servicio inicial y terminal.

El cambio o pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define en el método con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

Dónde:

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal deseado.

p_0 = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles).

p_t = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0 recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

$\Delta PSI = 1.7$

2.2.9. Confiabilidad (R)

La Confiabilidad de un proceso de diseño de un pavimento es la probabilidad de que una sección diseñada con ese proceso rendirá satisfactoriamente con las condiciones de tráfico y ambientales para el período de diseño.

Los parámetros que miden esa confiabilidad son dos:

- ⊕ Nivel de Confiabilidad
- ⊕ Desviación Estándar

2.2.9.1. Nivel de Confiabilidad

El nivel de confiabilidad es la probabilidad en porcentaje de que la estructura dure el período de diseño. Esta probabilidad es extraída de una curva de distribución Normal. La selección de este parámetro depende del uso e importancia del pavimento. Un nivel de confiabilidad alto implica mayores costos iniciales, pero menores costos de mantenimiento. Según recomendaciones de la AASHTO, para una carretera de la Red principal o federal el rango es de 75-96:

| NIVELES DE CONFIABILIDAD | |
|------------------------------------|--|
| CLASIFICACIÓN FUNCIONAL | NIVEL RECOMENDADO POR AASHTO PARA CARRETERAS |
| Carretera Interestatal o Autopista | 80-99.9 |
| Red principal o federal | 75-95 |
| Red secundaria o Estatal | 75-95 |
| Red Rural o Local | 50-80 |

Se adoptará un **R = 98%**.

| CONFIABILIDAD | DESVIACION STANDARD NORMAL |
|---------------|----------------------------|
| 50 | -0.000 |
| 60 | -0.253 |
| 70 | -0.524 |
| 75 | -0.674 |
| 80 | -0.841 |
| 85 | -1.037 |
| 90 | -1.282 |
| 91 | -1.34 |
| 92 | -1.405 |
| 93 | -1.476 |
| 94 | -1.555 |
| 95 | -1.645 |
| 96 | -1.751 |
| 97 | -1.881 |
| 98 | -2.054 |
| 99 | -2.327 |
| 99.9 | -3.09 |
| 99.99 | -3.75 |

$$\mathbf{Z_R = -2.054}$$

2.2.9.2. Desviación Estándar

Este parámetro está ligado directamente con la Confiabilidad (R), descrita en el punto 2.2.9.1; habiéndolo determinado, en este paso deberá seleccionarse un valor S_o "Desviación Estándar Global", representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

La desviación Estándar es una medición de los errores o variabilidad de los datos introducidos, propiedades de los materiales, tráfico, propiedades de la subrasante, condiciones climáticas y calidad de construcción. En la ausencia de valores locales, la AASHTO recomienda los siguientes valores:

Pavimentos Flexibles: $S_o = 0.44$

2.2.10. Propiedades de la Subrasante

La propiedad que se usa para caracterizar la Subrasante es el Módulo Resiliente "Mr". Este valor es una medida de la elasticidad del suelo reconociendo características no lineares. El módulo Resiliente puede ser utilizado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero debe ser convertido en el módulo de reacción (k) para el diseño de pavimentos rígidos.

El método utilizado para caracterizar la subrasante es el método de valor soporte California C.B.R. ya que el equipo necesario para utilizar el Mr es costoso y no disponible.

Una vez establecido el valor del CBR de la subrasante de la Unidad definitiva de diseño se deberá calcular el valor del Módulo Resiliente (Mr) de la subrasante a partir del valor adoptado de CBR., utilizando la correlación propuesta por la AASHTO que se indica a continuación.

$$M_R = 2555 \times CBR^{0.64} [PSI]$$

De acuerdo a la experiencia en Latinoamérica, las ecuaciones que se presentan a continuación son las más utilizadas y las que han sido aplicadas en el presente diseño:

$$M_R = 17.6 \times CBR^{0.64} [MPa] \therefore 2 \leq CBR \leq 12$$

$$M_R = 22.1 \times CBR^{0.55} [MPa] \therefore 12 \leq CBR \leq 80$$

2.2.10.1. CBR de Diseño

Valor soporte California (CBR, AASHTO T-193) En este ensayo, se mide la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón de 3 plg² de área en una muestra de suelo de 6 plg. (15

cm) de diámetro y 5 plg. (12.5 cm) de altura, a una velocidad de 1.27 mm/min (0.5 plg/min). La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro del suelo se mide a determinados intervalos de penetración; estas fuerzas medidas, se comparan con las que se necesitan para producir iguales penetraciones en una muestra que sirve de patrón, la cual es piedra partida bien graduada: la definición del CBR es:

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en un suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5mm en la muestra patrón}}$$

Relación que nos da un valor que se indica en porcentaje, el cual puede ser muy variable dependiendo de los suelos analizados; 2 a 4% en arcillas plásticas hasta un 70 % o más en materiales granulares de buena calidad.

El CBR de diseño se consiguió de los datos obtenidos del estudio de suelos y materiales, se utilizaron los valores de CBR al 95% del Proctor Modificado AASHTO T-180.

C.B.R.. AL 95%= 21.254 ⇒ MR=18070 Psi

SN=3.0

2.2.11. Condiciones Ambientales

Dos factores ambientales son considerados concernientes al rendimiento de un pavimento, estos son temperatura y precipitación.

2.2.12. Materiales de Construcción

2.2.12.1. Pavimentos Flexibles

El pavimento flexible consiste de una subrasante preparada, subbase, base y una superficie bituminosa.

2.2.12.2. Subrasante Preparada

La subrasante preparada es la capa de suelo natural o de préstamo. Es la fundación del pavimento. Para el caso de que sea el suelo natural, se compactará a un espesor mínimo de 30cm. Cuando se cambie el suelo, el espesor debe ser por lo menos 30cm.

2.2.12.3. Subbase

La subbase es la porción del pavimento entre la base y la subrasante. Consiste de material granular. Las especificaciones, granulometría de los materiales se ven en la especificación M147 de la AASHTO. Para el uso en el período de diseño la capa base debe ser representada por un coeficiente de capa (a3)

Aparte de la función como elemento estructural la subbase también cumple la función de proteger la base de la intrusión de grano fino.

2.2.12.4. Base

La base es la capa inmediatamente debajo de la superficie. Construida encima de la subbase. Consiste de agregado de piedra triturada. Las especificaciones para la capa base son más estrictas que las de la subbase. Las especificaciones, granulometría de los materiales se ven en la especificación M147 de la AASHTO. Para el uso en el período de diseño la capa base debe ser representada por un coeficiente de capa (a_2)

2.2.12.5. Capa de Rodadura

La capa de rodadura de una estructura flexible consiste una mezcla de agregado mineral con material bituminoso. Está por encima de la capa base. Aparte de su función como capa estructural, debe resistir las fuerzas abrasivas del tráfico, impermeabilizar el pavimento, proveer una superficie áspera, y proveer una superficie suave y confortable para el viaje.

2.2.12.6. Bermas

Las bermas son las porciones de la carretera continua a la calzada para acomodación de vehículos parados, y para soporte lateral de la base y subbase. Sirve también como una desviación temporal cuando se hace mantenimiento en la carrera.

Para la construcción de las bermas se planea el uso de bases granulares con un tratamiento superficial simple.

2.2.13. Diseño del Pavimento Flexible

Para determinar la capacidad estructural que se requiere en un pavimento flexible determinamos el Número Estructural "SN". Para determinar el SN, se deben introducir los siguientes datos:

2.2.13.1. Conversión de SN a espesores de capa

En el procedimiento de diseño AASHTO, el cálculo del diseño del pavimento produce un número estructural. Este número estructural expresa la resistencia estructural de un pavimento flexible. Este valor que es resultado de la ecuación de diseño AASHTO, se convierte a espesores individuales de capas en el pavimento a través de la siguiente relación:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3 + \dots a_n \times D_n \times m_n$$

Dónde:

SN = Número Estructural

a_i = Coeficiente Estructural de la capa i

D_i = Espesor de la Capa i

m_i = Coeficiente de Drenaje de la capa i

Cada una de las variables que conforman esta ecuación tienen varios posibles valores, pero de acuerdo a la Guía de Diseño existen ciertas condiciones mínimas recomendadas que se deben cumplir para que una vez construidas unas protejan a las otras y viceversa.

Para la determinación de los Espesores de las distintas capas utilizando el método de Análisis por Capas se deben seguir las ecuaciones que se mencionan a continuación:

$$D > \frac{SN_1}{a_1} \quad (\text{Valor mínimo requerido para la capa asfáltica})$$

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (\text{Valor real que debe ser usado})$$

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^* \geq SN_1$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

a , D , m y SN están definidos en texto y son los valores mínimos requeridos

D^* SN^* indica o representa el valor actualmente usado, que debe ser igual o mayor al valor requerido.

Se adopta un espesor D_1^* ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^*$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el Mr de la subBase y entonces se obtiene el SN_2 , a ser absorbido por el concreto asfáltico y la base, así:

$$D_2^* \geq SN_2 - \frac{SN_1^*}{a_2 \times m_2}$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor, D_2^* , y el número estructural absorbido será:

$$SN_2^* = a_2 \times m_2 \times D_2^*$$

Por último para la subBase, se entra con el Mr correspondiente a la subrasante y se obtiene $SN_3=SN$ para a todo el paquete estructural calculado o sea la capa asfáltica, base y subbase. En este caso el espesor es:

$$D_3^* \geq SN_3 - \frac{(SN_1^* + SN_2^*)}{(a_3 \times m_3)}$$

Se adopta un espesor ligeramente mayor, D_3^* , y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase:

$$SN_3^* = a_3 \times m_3 \times D_3^*$$

Como verificación tenemos:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN$$

Considerado que, en el caso de que los espesores obtenidos a través de las expresiones matemáticas arriba indicadas resulten inferiores a los espesores mínimos indicados en el método, dichos mínimos deberán ser adoptados, lo que obliga a la definición de nuevos valores de los coeficientes estructurales.

Estabilidad y factibilidad de la construcción.

En la práctica no deben colocarse capas con espesores menores que los mínimos requeridos, ya que las capas con espesores mayores que el mínimo son más estables. Frecuentemente se especifica un valor mayor en el espesor de capas, con el objeto de mantener la estructura de pavimento en mejores condiciones para absorber los efectos que producen los suelos expansivos.

Cuando se utilicen como capa de rodadura tratamientos superficiales, no se debe considerar aporte estructural de esta capa; pero tiene un gran efecto en la base y la subbase ya que impermeabiliza la superficie y no permite la entrada de agua a la estructura de pavimento. En la siguiente tabla se dan valores de los espesores mínimos sugeridos para capas asfálticas y base granular en función del tránsito.

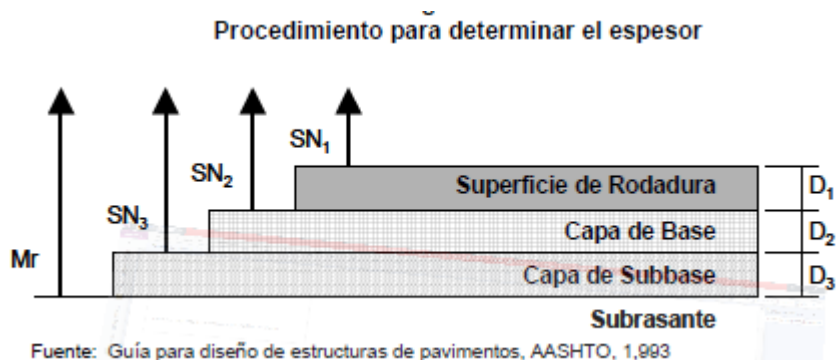
| ESPESORES MÍNIMOS SUGERIDOS | | |
|-----------------------------|------------------|---------------|
| Numero de ESAL's | Capas Asfálticas | Base Granular |
| Menos de 50.000 | 3.0 cm | 10 cm |
| 50.000-150.000 | 5.0 cm | 10 cm |
| 150.000-500.000 | 6.5 cm | 10 cm |
| 500.000-2.000.000 | 7.5 cm | 15 cm |
| 2.000.000-7.000.000 | 9.0 cm | 15 cm |
| Más de 7.000.000 | 10.0 cm | 15 cm |

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

Tales mínimos dependen de las prácticas locales y está condicionado el usarlos; diseñadores pueden encontrar necesario modificar hacia arriba los espesores mínimos por su experiencia obtenida; estos valores son sugeridos y se considera su uso tomando en cuenta que son capas asfálticas sobre bases granulares sin tratar.

Espesores mínimos en función del número estructural

El objeto de este concepto, está basado en que las capas granulares no tratadas, deben de estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. El proceso se indica en la figura:



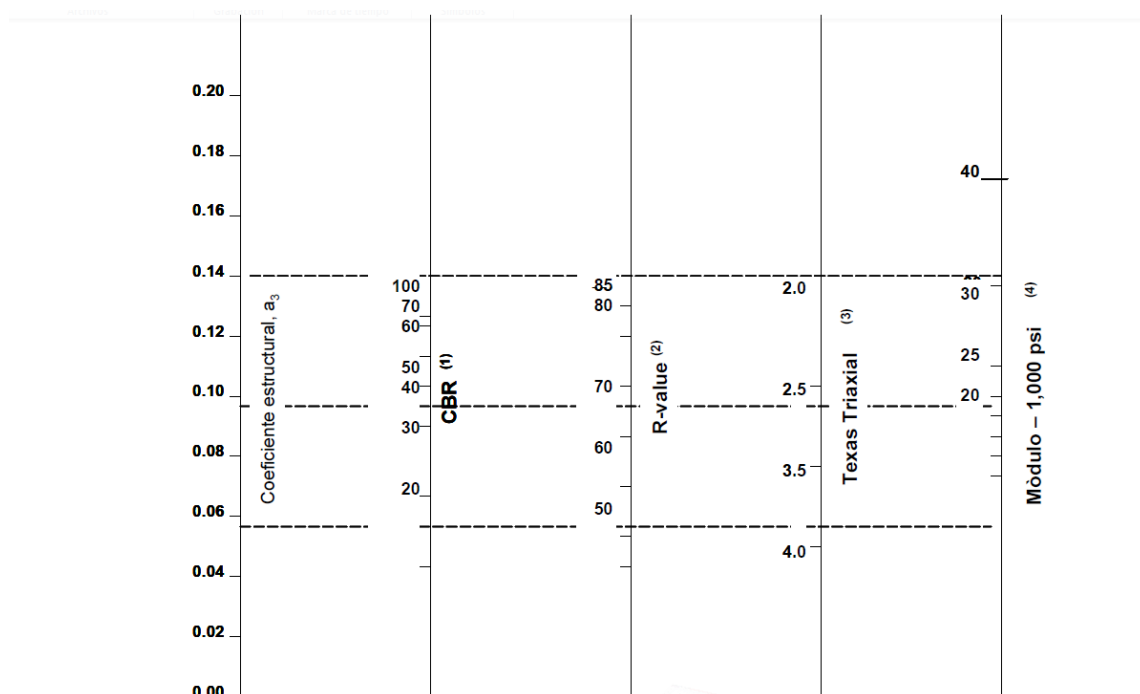
2.2.13.2. Coeficientes Estructurales de las Capas (a_i)

El coeficiente estructural de una capa representa la relación empírica entre el número estructural SN y el espesor de dicha capa, siendo una medida de la capacidad relativa del material para actuar como componente estructural de un dado pavimento.

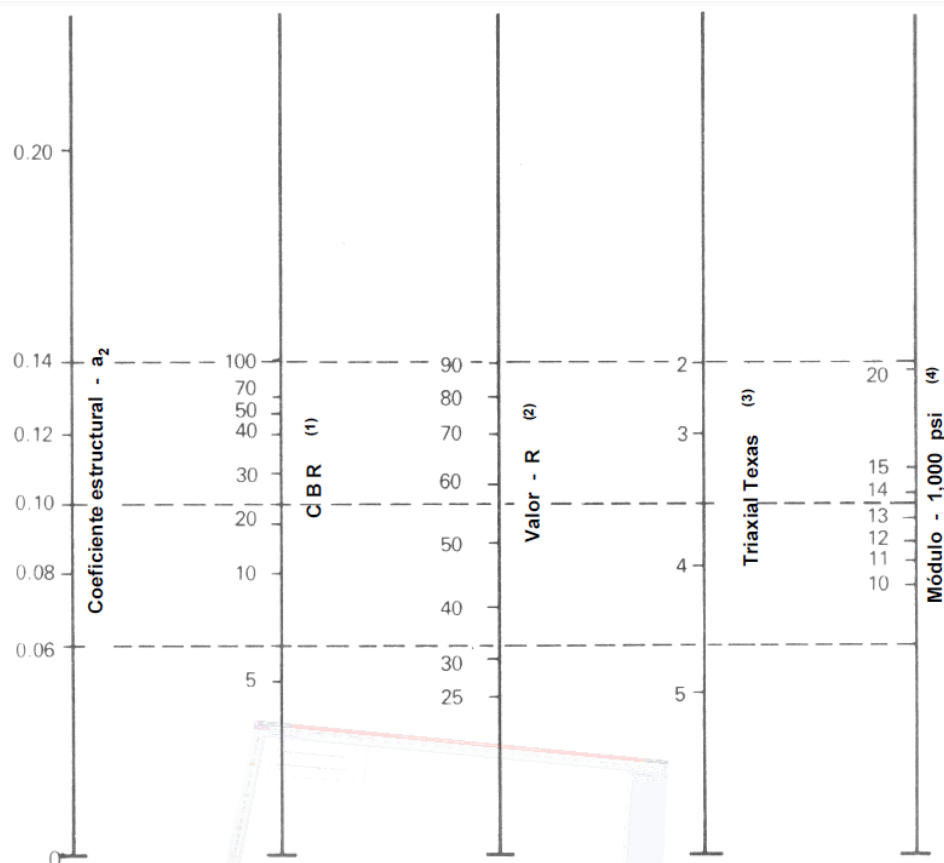
El método AASHTO (guía de diseño de pavimentos AASHTO – 93) presenta diversas formas de obtener el valor del coeficiente estructural, en general a través de correlación con otras propiedades mecánicas de los materiales (CBR, módulo resiliente, etc.). Estos coeficientes son posibles de determinar a través de ábacos o expresiones matemáticas. A continuación se presentan los valores adoptados para cada caso:

| DESCRIPCIÓN DE LA CAPA | CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA POR TEMPERATURA | a_i |
|---|---|-------|
| Mezcla Asfáltica Densa en Caliente | Frio | 0.44 |
| | Templado | 0.41 |
| | Cálido | 0.37 |
| Mezcla Asfáltica Densa en Frío | Frio | 0.4 |
| | Templado | 0.37 |
| | Cálido | 0.34 |
| Suelo Estabilizado con emulsión asfáltica | Todas las Categorías | 0.14 |
| Suelo estabilizado con cemento Portland | Todas las Categorías | 0.14 |
| Base Granular | Todas las Categorías | 0.14 |
| SubBase Granular | Todas las Categorías | 0.12 |
| Afirmado | Todas las Categorías | 0.08 |

15



¹⁵ Manual de diseño de pavimentos asfálticos 2007 (Colombia)



⊕ *Carpeta Asfáltica* **a₁ = 0.42**

⊕ *Bases Granulares* **a₂ = 0.14**

⊕ *Sub Bases Granulares* **a₃ = 0.12**

2.2.13.3. *Coefficiente de Drenaje (mi)*

El Método AASHTO propone la utilización de los coeficientes modificados para las capas de pavimento, en función de las características de drenaje de los materiales. Para eso, la calidad del drenaje es definida en función del tiempo exigido para la remoción del agua del pavimento.

Se consideraron los coeficientes de drenaje en función del material empleado y de la posición de la capa en la estructura. Además se eso, en las tablas indicadas en la guía de la AASHTO que la calidad del drenaje será regular, es decir, el tiempo de remoción del agua del pavimento será de cerca de una semana, y el porcentaje de tiempo a que el pavimento estará sujeto a condiciones

de humedad próxima de la saturación será de 5% y 25%. Resulta que para la capa Base, Sub Base y refuerzo, se adoptó coeficiente igual a **$m_i = 1.0$**

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

$$3 = 0.42 \times 2 + 0.14 \times 7.874 \times 1 + 0.1375 \times D_3 \times 1$$

$$D_3 = 7.692$$

2.2.14. Espesores

De acuerdo con las recomendaciones de las características básicas de diseño se ha visto por conveniente elegir como solución técnicamente favorable la aplicación de una carpeta asfáltica.

Se definirán los espesores de cada una de las capas que componen el paquete estructural. Para el diseño de éstas, se cuidarán los aspectos técnicos y económicos, con el fin de lograr un diseño óptimo y que satisfaga ambas premisas.

La superficie de rodadura tiene una gran incidencia en los costos de operación de los vehículos y el presupuesto general de la obra. La capa de rodadura de carpeta asfáltica por la cantidad de tráfico proyectada para este tramo. De acuerdo a un diseño básico y preliminar de la carpeta del camino, el proyecto tendrá un paquete estructural que se indica en el cuadro 6.

Rangos de Gradación para Tratamientos Superficiales

| Tamiz | Porcentaje que pasa Tipo de Material | | | |
|------------------|---|--------|--------|--------|
| | A | B | C* | D |
| 25,0 mm. (1") | 100 | | | |
| 19,0 mm. (3/4") | 90-100 | 100 | | |
| 12,5 mm. (1/2") | 10-45 | 90-100 | 100 | |
| 9,5 mm. (3/8") | 0-15 | 20-55 | 90-100 | 100 |
| 6,3 mm. (1/4") | | 0-15 | 10-40 | 90-100 |
| 4,75 mm. (N° 4) | 0-5 | | 0-15 | 20-55 |
| 2,36 mm. (N° 8) | | 0-5 | 0-5 | 0-15 |
| 1,18 mm. (N° 16) | | | | 0-15 |

*Gradación recomendada para Tratamiento superficial doble

RESUMEN DE ESPESORES DE PAVIMENTOS

| TRAMO | PAVIMENTO | PAQUETE ESTRUCTURAL |
|----------------------------------|----------------|--------------------------|
| <i>SALADITO-SERRANÍA TAPECUA</i> | <i>Carpeta</i> | <i>Asfalto 5 cm.</i> |
| | | <i>Berma 1.25 cm TSD</i> |
| | | <i>Base 20 cm.</i> |
| | | <i>Subbase 20 cm.</i> |

2.3. TÚNEL

Se considera que toda excavación vial cerrada, ya sea excavada directamente en roca y/o suelo o excavada como trinchera y luego cubierta, corresponde a la denominación genérica de "túnel". La longitud se mide desde el inicio al fin de la estructura cubierta lo cual hace que se incluyan, en la longitud, los denominados túneles falsos.

La ejecución de estas obras ha permitido realizar soluciones viales modernas y eficientes y a la vez ha demandado el desarrollo de la Mecánica de Rocas y Suelos, y de la Geología Aplicada a la Ingeniería, utilizando también diversas técnicas originalmente desarrolladas para la Minería, en una conjunción de ingenieros civiles, geólogos e ingenieros geólogos.

2.3.1. ASPECTOS GENERALES

Las obras subterráneas, al igual que las excavaciones, fundaciones y otras obras de tierra, se diferencian de los diseños estructurales por producirse en formaciones geológicas, caracterizadas en general por su heterogeneidad y anisotropía, cuyo conocimiento resulta, en la práctica, siempre limitado. Ante esta situación, sólo queda realizar una investigación geotécnica previa más intensa que lo habitualmente acostumbrado, con objeto de reducir el nivel de incertidumbre a un límite aceptable. Es necesario recordar que en obras subterráneas, el peor problema es el no previsto, ya que el espacio reducido, la falta de luz, y la siempre presente problemática de seguridad, limitan el margen de maniobra y pueden llegar a producir accidentes o afectar severamente la economía de la operación.

Por otra parte, con vistas al diseño geológico-geotécnico y método de excavación, es necesario recordar que la bondad del modelo geológico supuesto nunca superará la realidad del terreno, por lo que casi toda inversión en prospecciones está sobradamente justificada. En consecuencia, los sondajes, la geofísica y las calicatas se pagan siempre, y a un precio mayor cuanto más tarde se hagan o cuando se omitan.

Todo estudio o proyecto debe, al menos, identificar los problemas que pueden presentarse, en especial los que pueden suponer riesgos laborales, como la presencia de gases tóxicos o explosivos, causantes de graves accidentes, filtraciones de agua, derrumbes, etc.

Dados los límites del conocimiento, siempre será necesario organizar un seguimiento de la excavación con el objeto de adaptar el proyecto a la realidad allá donde sea necesario, y contar con la presencia de profesionales experimentados, tanto en el diseño como en la construcción.

Es un hecho evidente que la sociedad del futuro va a hacer un uso cada vez más intenso y racional del subsuelo, con el fin de satisfacer diversas necesidades, que se sumarán al aprovechamiento tradicional de los recursos minerales que alberga. Basta citar como ejemplos los depósitos subterráneos de combustibles líquidos y de residuos peligrosos, la construcción de túneles, de centrales hidráulicas, de refugios, etc.

La evolución que han sufrido en los últimos tiempos las técnicas de reconocimiento del terreno, diseño y construcción de obras subterráneas exige una puesta al día y revisión de las mismas, recogiendo no sólo el estado del arte actual sino incluso las tendencias del futuro.

Las instrucciones de diseño que se exponen en los tópicos siguientes solo corresponden a directrices básicas, orientativas de lo que se considera primario, en un diseño de una obra subterránea. Cada obra subterránea de por sí es especial, diferente y única, en donde pueden ser necesarias técnicas específicas, mixtas y variables de un proyecto a otro. Un túnel es una obra de alto costo que debe ser estudiada y acondicionada a las situaciones particulares del contexto vial del que formará parte, el tipo de servicio que deberá prestar, así como de las características geográficas y geológicas propias de cada emplazamiento.

Todo lo expuesto avala la condición de la flexibilidad que se debe dar a las pautas que se definen, orientando cada proyecto como un caso especial y adecuando las técnicas de diseño, las prospecciones y especificaciones a las peculiares condiciones de cada situación.

2.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS OBRAS VIALES SUBTERRÁNEAS

a. Según ubicación

Los túneles, según su ubicación en relación a las ciudades, pueden ser definidos como:

i. Rurales

Son túneles ubicados fuera del entorno urbano y que, en general, están destinados a atravesar obstáculos físicos tales como montañas o cuerpos de agua que resultan difíciles o inconvenientes de cruzar mediante puentes.

Los túneles rurales habitualmente tienen pocas restricciones espaciales. Por otra parte, en ellos suele ser más costoso el abastecimiento de agua y electricidad para la operación de los sistemas de incendio, iluminación, ventilación, controles y comunicaciones que puedan requerirse. En general, estos túneles son excavados en roca, suelos residuales o suelos transportados.

ii. Urbanos

Son túneles emplazados dentro de los límites de la ciudad y están fuertemente constreñidos espacialmente por las redes de servicios propios de las urbes modernas, como ser: redes de alcantarillado, redes de trenes subterráneos, redes de agua potable, redes de gas, redes de alimentación eléctrica, teléfonos, fibra óptica, etc.

Los túneles urbanos son frecuentemente del tipo trinchera cubierta y excavados en suelos o depósitos sedimentarios.

En los túneles urbanos los problemas de ventilación resultan, a veces, dificultados por el hecho de que no siempre se puede expulsar libremente el aire viciado proveniente del interior del túnel, debido a restricciones de carácter ambiental.

b. Según características constructivas

Los túneles según sus características estructurales y de construcción pueden ser definidos como:

- ⊕ Túneles en roca (Normalmente a través de cordones de cerros)
- ⊕ Túneles en suelo (Normalmente urbanos)

- ⊕ Túneles falsos (Construidos en hormigón armado y luego cubiertos con suelo. Generalmente se construyen antes de la entrada a los túneles en roca, para proteger a los vehículos de la caída de clastos).
- ⊕ Trincheras cubiertas (Estructuras de hormigón armado de sección rectangular, construidas en suelo y luego tapadas. Generalmente son urbanas)
- ⊕ Cobertizos (Estructuras de hormigón armado de sección rectangular construidos en zonas montañosas para proteger a los vehículos de las avalanchas de nieve y/o desprendimientos de bloques de rocas. Estas estructuras generalmente son abiertas en uno de sus costados)

c. Según clima y altitud

Resulta de especial importancia la ubicación geográfica (fundamentalmente altitud) en donde se ubique la obra y el clima del sector.

Toda obra localizada en altura considerable y en un clima lluvioso o sectores con filtraciones mayores, requerirá el diseño especial de canaletas conductoras – evacuadoras de aguas, las cuales deberán ser calculadas, dimensionadas y localizadas de manera que cumplan con el objetivo de mantener las pistas secas.

La ubicación geográfica determinará la posibilidad de congelamiento de aguas escurrientes o infiltradas a la obra para lo cual deberá procederse a neutralizar el fenómeno que provoque esta situación.

Hay dos fenómenos, particularmente peligrosos para los conductores, que se producen frecuentemente en túneles cordilleranos con exceso de agua, que deben evitarse a toda costa:

Pavimentos con una película superficial de agua congelada, que se tornan muy resbalosos.

d. Según flujo vehicular, longitud y equipamiento

La clasificación de los Túneles en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y del Tránsito en Hora Punta asociado a dicho TPDA, versus la longitud del ducto; según ello se clasifican las obras en cuatro categorías, A, B, C1 y C2, para las que en la Ilustración 3 se indica el tipo de Equipamiento de Seguridad y Control con que debería contar el Túnel. El TPDA se debe considerar al horizonte de diseño de la obra y el Tránsito en Hora Punta como el de la Hora 30 a dicho horizonte.

Las categorías A, B y C1 corresponden a ductos con tránsito bidireccional, en tanto que la C2 corresponde a ductos con tránsito unidireccional. Desde el punto de vista de su equipamiento los túneles C1 y C2 deben contar con las instalaciones clasificadas con la letra C en la Ilustración 3 .

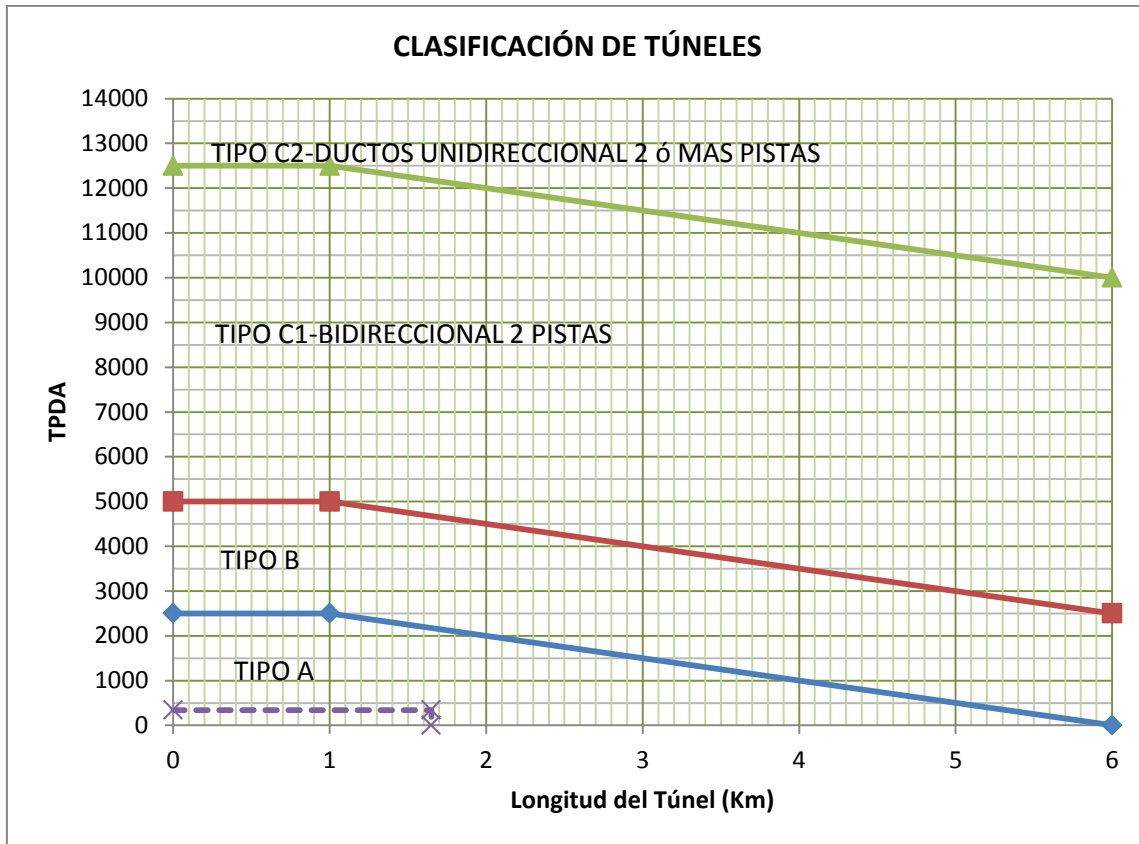


Ilustración 3

Para un TPDA=340 y una longitud de Túnel=1650m corresponde a **TIPO A**

Las líneas punteadas de la figura corresponden a la frontera para la cual a un mismo TPDA, túneles de mayor longitud pasan a la categoría superior en cuanto a equipamiento deseable.

Se establece además que según sea la longitud del Túnel, cuando el tránsito de la hora punta es del orden de 1500 a 1900 Veh/h, se deben diseñar ductos unidireccionales de 2 pistas cada uno; pudiendo inicialmente construirse un ducto bidireccional, para luego construir el segundo ducto quedando ambos unidireccionales.

Debe tenerse presente que para los TPDA indicados entre un 20 y 40% son camiones y buses, según el camino de que se trate. En hora punta estos porcentajes suelen bajar a valores comprendidos en el rango de 7 a 18%.

El volumen de 12.500 Veh/día, para un túnel corto, que requeriría Ductos Unidireccionales corresponde al porcentaje menor de camiones y buses. Consecuentemente, para el límite superior de vehículos comerciales la línea divisoria entre túnel bidireccional y de ductos unidireccionales se desplazará hacia abajo, dependiendo entre otros factores de la pendiente longitudinal y del tipo de carretera de que se trate, es decir de la calidad del servicio que le corresponda.

La longitud de un túnel es fundamental en la determinación de las especificaciones de requerimientos de equipamiento, ya sea para implementación inmediata o a futura.

Debe tenerse presente que siempre es posible realizar el equipamiento de un túnel, en forma progresiva. Sin embargo, es necesario tomar las precauciones respectivas en el diseño de la sección básica y obras civiles, particularmente si se pretende habilitar sistemas de ventilación en etapas posteriores.

En todo caso, la clasificación apunta principalmente al tipo de equipamiento con que deberían contar los túneles y la decisión de construir uno o dos ductos deberá ser tomada tras un estudio técnico económico que pondere adecuadamente todos los factores involucrados.

Un túnel de gran longitud pero de escaso tráfico puede considerar la postergación de cierta implementación, pero debe considerar en su diseño los espacios y/o condiciones específicas para estas implementaciones a futuro.

Según el tipo de túnel que corresponda de acuerdo a lo indicado, quedarán determinados los equipos de seguridad requeridos y/o recomendados en cada caso ver Tabla 24.

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD Y CONTROL EN TÚNELES MAYORES A 200 M

Tabla 24

| Equipamiento | A | B | C | Observaciones |
|-----------------------------------|---|---|---|---|
| Luces de evacuación de emergencia | ○ | ○ | ● | Luces cada 50 m. |
| Extintores de incendio | ○ | ● | ● | Cada 100 m Tipo C Cada 200 m Tipo B |
| Teléfono de emergencia | ○ | ○ | ● | Cada 200 m. |
| Señales de servicios | ○ | ● | ● | En cada servicio. |
| Marcas en pavimentos Ojos de gato | ● | ● | ● | Continuas. |
| Red de control de incendio | ○ | ○ | ● | Diseñar ad hoc. |
| Vigilancia de TV. | ○ | ○ | ● | Diseñar ad hoc. |
| Iluminación interior | ○ | ● | ● | Diseñar ad hoc. |
| Equipos eléctricos de emergencia | ○ | ● | ● | Diseñar ad hoc. |
| Control de altura | ● | ● | ● | 200 m antes de portales. Con pista auxiliar para detención fuera de la carretera. |

● Obligatorio

○ Recomendable

Nota: Los requerimientos relativos a ventilación del túnel serán analizados para cada caso específico según los criterios establecidos en "Sistemas de Ventilación de Túneles".

Las principales características de estos sistemas de seguridad son:

i. Luces de evacuación de emergencia

Son luces usadas para indicar o mostrar el camino hacia las bocas de los túneles en caso de presencia de humo. Son equipos activados manual o automáticamente en caso de incendio. Debe tratarse de luz blanca que pueda verse a través del humo, instaladas en las paredes a 1 m sobre el pavimento y a lo menos cada 50 m una de otras, deben tener capacidad para permanecer a lo menos 1 hora encendidas.

De acuerdo a las recomendaciones para este tipo de túnel, este tipo de equipamiento no será contemplado en el proyecto.

ii. Extintores de incendio

Debe tratarse de equipos puestos en nichos en las paredes del túnel dentro de cubículos iluminados con puerta de vidrio delgado fácil de romper en caso de requerimiento. Deben estar indicados con señalización adecuada, reflectante e iluminación interior.

A lo menos se considera un punto de ubicación cada 200 m.

De acuerdo a las recomendaciones para este tipo de túnel, este tipo de equipamiento no será contemplado en el proyecto.

iii. Teléfonos de emergencia

Estos teléfonos deben estar destacados, y deben funcionar de manera tal que emitan una señal al controlador con solo levantar el auricular no requiriendo discar ningún número. Se deben instalar en nichos cubiertos con un semi techo. Su número debe ser uno cada 200 m de longitud de túnel.

De acuerdo a las recomendaciones para este tipo de túnel, este tipo de equipamiento no será contemplado en el proyecto.

iv. Señales de servicio

Debe considerarse dentro del túnel la instalación destacada de señales camineras que indiquen la presencia de extintores de incendio, teléfono de emergencia, velocidad y otras condiciones especiales de la obra.

De acuerdo a las recomendaciones para este tipo de túnel, este tipo de equipamiento no será contemplado en el proyecto.

v. Marcas de pavimento (capta luces)

Debe considerarse la instalación de este tipo de marcas reflectantes en el pavimento igual que su instalación en el camino exterior.

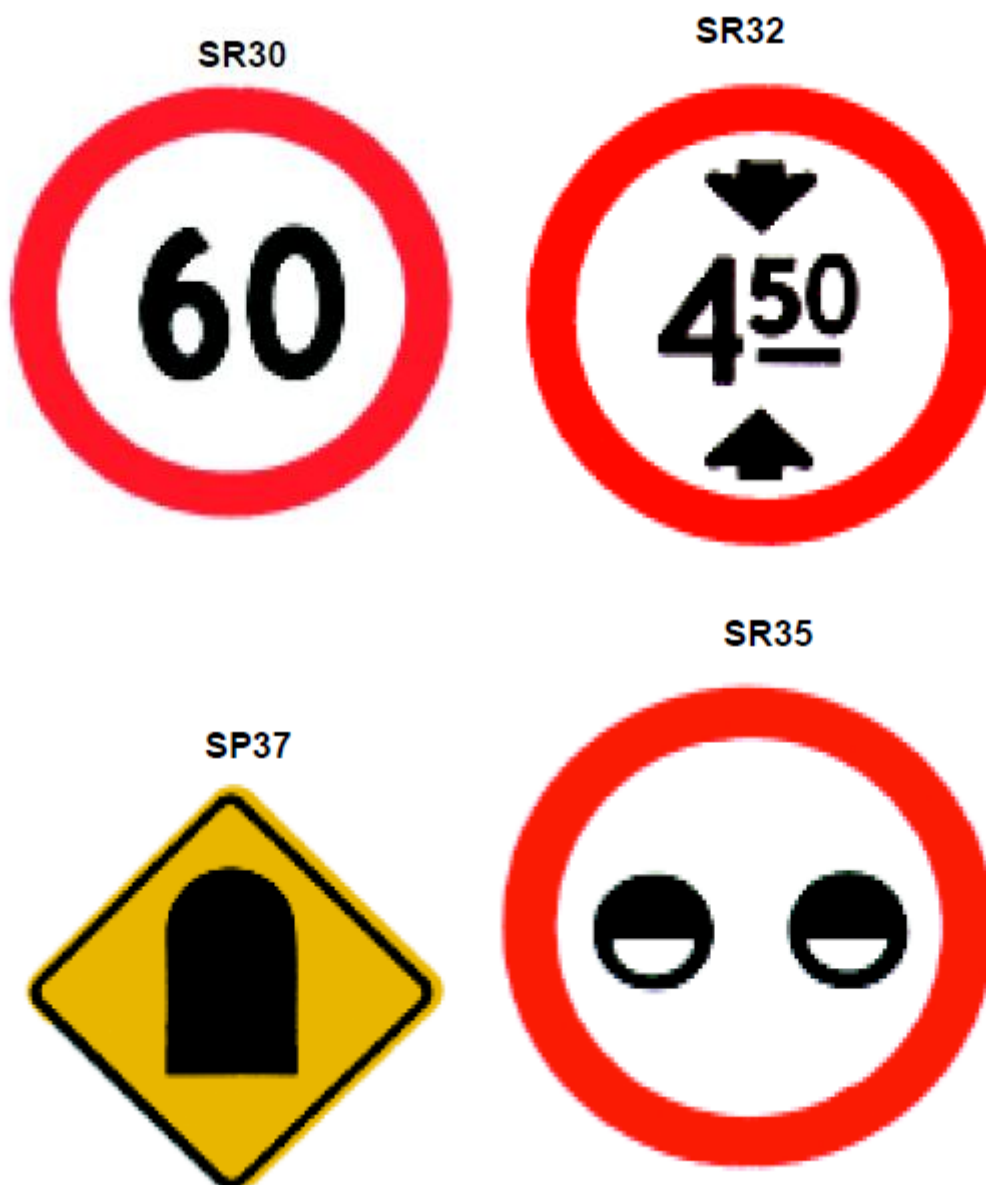
x. Control de altura

Estos se clasifican según su ubicación, tipo y función.

- ⊕ Al interior del túnel: Paneles de mensaje variable, indicando uso de pistas y señales de limitación de velocidad. Deben tener dimensiones y lecturas visibles y entendibles para el usuario, a fin de captar claramente y a una distancia prudente el mensaje entregado.

- ⊕ En los Accesos: Semáforos y panel de señalización variable, sistema de control de altura de vehículos, de modo que estos no excedan el gálibo permitido, pudiéndose detectar y parar o desviar los vehículos sobredimensionados antes de ingresar al túnel.

Se contemplará la instalación de señal vertical SR30, SR32, SP37 200 m antes de portales. Y asimismo una pista auxiliar para detención fuera de la carretera.



2.3.3. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LOS TÚNELES

Deben contar con condiciones de seguridad y servicios de emergencia completos y permanentes.

Estas condiciones indican que el diseño de ciertos elementos en un túnel difiere de diseños que se aplican a caminos normales de superficie, sin embargo el diseño geométrico del trazado se hará siguiendo la misma pauta que se utiliza en las carreteras de superficie.

2.3.3.1. Planta

El diseño del trazado en planta de un túnel está sujeto a las mismas limitaciones y recomendaciones generales aplicables al diseño geométrico de un camino, excepto algunas particularidades específicas de los túneles. El hecho de que los túneles se diseñen con un ancho de bermas limitado y que sus paredes sean verticales o semi verticales, tiene una consecuencia importante en cuanto a la disminución de la visibilidad, en especial cuando se tiene curvas horizontales hacia la derecha, en el sentido del avance del vehículo, o bien curvas a la izquierda en ductos unidireccionales con un paramento central. De aquí resulta la necesidad de utilizar radios de curva suficientemente grandes para que se mantenga siempre la visibilidad mínima de frenado, ante un obstáculo en la calzada. El cálculo respectivo debe hacerse en función de la velocidad de circulación autorizada, considerando la normativa establecida en "Distancias de Visibilidad y Maniobras Asociadas".

El diseño de curvas en el interior de los túneles puede estar impuesto por condicionantes del trazado, o bien, para lograr un mejor emplazamiento de los portales. En cualquier caso las curvas proyectadas deberán respetar la normativa antes aludida.

Otra recomendación que suele hacerse en relación al trazado en planta es la conveniencia de evitar que el conductor pueda ver la salida del túnel desde una gran distancia, ya que esto tiende a distraer su atención, respecto de la zona próxima por la que está circulando. La forma de conseguir el efecto buscado es diseñar curvas suaves a la entrada y a la salida de los túneles.

2.3.3.2. Alzado

El diseño del trazado de un túnel está sujeto a las mismas limitaciones y recomendaciones generales aplicables al diseño geométrico de un camino. Sin embargo, resulta necesario tener presentes algunas situaciones que son específicas de los túneles. Uno de los problemas que debe estudiarse en forma más cuidadosa, en el diseño de un túnel, es su saneamiento, ya que es frecuente que en su interior aparezcan filtraciones de agua permanentes u ocasionales. A fin de evitar acumulaciones de agua que pueden ser graves y peligrosas se debe hacer el diseño en alzado dejando pendientes hacia las bocas del túnel no menores de 0,3% a 0,5% y no haciendo curvas cóncavas que podrían embalsar localmente las aguas. En esta forma el saneamiento del túnel se podrá hacer siempre conduciendo las aguas por gravedad hacia el exterior. Coincidiendo con las directrices enunciadas se puede, en algunos casos, obtener una buena solución a la recomendación de evitar la vista directa a las bocas de salida haciendo curvas convexas en uno o ambos extremos según las condiciones de las rasantes de aproximación.

Si por alguna razón, relativa a interferencias con obras existentes, singularidades geológicas u otras causas, resultará inevitable hacer curvas cóncavas dentro del túnel, se deberá prestar

especial atención a la limitación de visibilidad (debido al techo del túnel o al cielo falso si lo hay) y a asegurar la evacuación de las aguas hacia el exterior.

Efecto de las pendientes longitudinales

La pendiente longitudinal de los túneles es una variable crítica que influye sobre la Velocidad de Operación del conjunto de vehículos, en especial en túneles bidireccionales en que se prohíbe el adelantamiento, quedando la velocidad controlada por la de los camiones. Por otra parte, a mayor pendiente, mayor producción de gases tóxicos y de humos, lo que requiere de sistemas de ventilación de mayor costo.

El efecto de la pendiente sobre la velocidad de un camión tipo, cuya relación peso/potencia es de 90 kgf/cv ≈ 122 kgf/kW, resalta el concepto de Velocidad Crítica en Pendiente, que indica la longitud en una pendiente dada que induce una caída de Velocidad de ΔV km/h para el camión tipo que ingresa a la pendiente a una velocidad de 88 km/h (rasante de aproximación prácticamente horizontal).

LONGITUD CRÍTICA EN PENDIENTE $\Delta \approx 23$ Km/h

Tabla 25

| i % | Longitud crítica (m) |
|-----|--|
| 2 | $\Delta V < 23$ km/h para cualquier L (m) |
| 3 | 1000 m (sobre 2000 m $\approx \Delta V$ 28 km/h) |
| 4 | 560 m |
| 5 | 380 m |
| 6 | 300 m |

En túneles muy cortos de 300 a 400 m podrían eventualmente aceptarse pendientes de 5 a 6%.

En definitiva, cada túnel en particular requerirá un estudio como el esbozado precedentemente, considerando las pendientes de aproximación, situación que se analiza en longitud y pendiente y velocidad de operación. Por otra parte, deberá considerarse también la Velocidad de Proyecto

propia de la Carretera o Camino, la que estará asociada al tipo de terreno en que ésta se emplaza y el Volumen de Tránsito que solicita la obra, pudiendo incrementarse el valor de Δ para tránsitos moderados y bajos (TPDA menores que 2500 Veh. Equivalentes/diarios).

2.3.3.3. Sección Transversal

La sección transversal de un túnel bidireccional debe tener el ancho suficiente para que se crucen dos camiones con un adecuado rango de seguridad. En ductos unidireccionales se deben asegurar las mismas condiciones de seguridad en relación a los adelantamientos. Todos los túneles carreteros se diseñarán con 2 carriles, como mínimo.

Como criterio general puede decirse que la capacidad de operación de un túnel es directamente proporcional al número de carriles que él tiene. En cambio, el costo de excavación, fortificación y riesgo geológico de un túnel crece en forma mucho mayor que linealmente con respecto al ancho del túnel.

Por otra parte, teniendo presente que por razones de seguridad y operación no resulta conveniente hacer túneles de menos de 2 carriles, se puede concluir que los túneles carreteros

deben diseñarse preferentemente de 2 carriles. Las excepciones a esta recomendación se suelen presentar cuando existen limitaciones de espacio tales que obligan a emplazar un túnel único de varios carriles en lugar de 2 ó más túneles de 2 carriles cada uno (esto ocurre frecuentemente en túneles urbanos). A este respecto deben establecerse claramente los criterios que pueden justificar túneles que no sean de dos carriles. Estas justificaciones deben incluir fundamentalmente aspectos relacionados a la geología para aquellos casos de túneles de 3 carriles y de aspectos de proyección de tráfico a futuro para túneles de 1 ó 3 carriles.

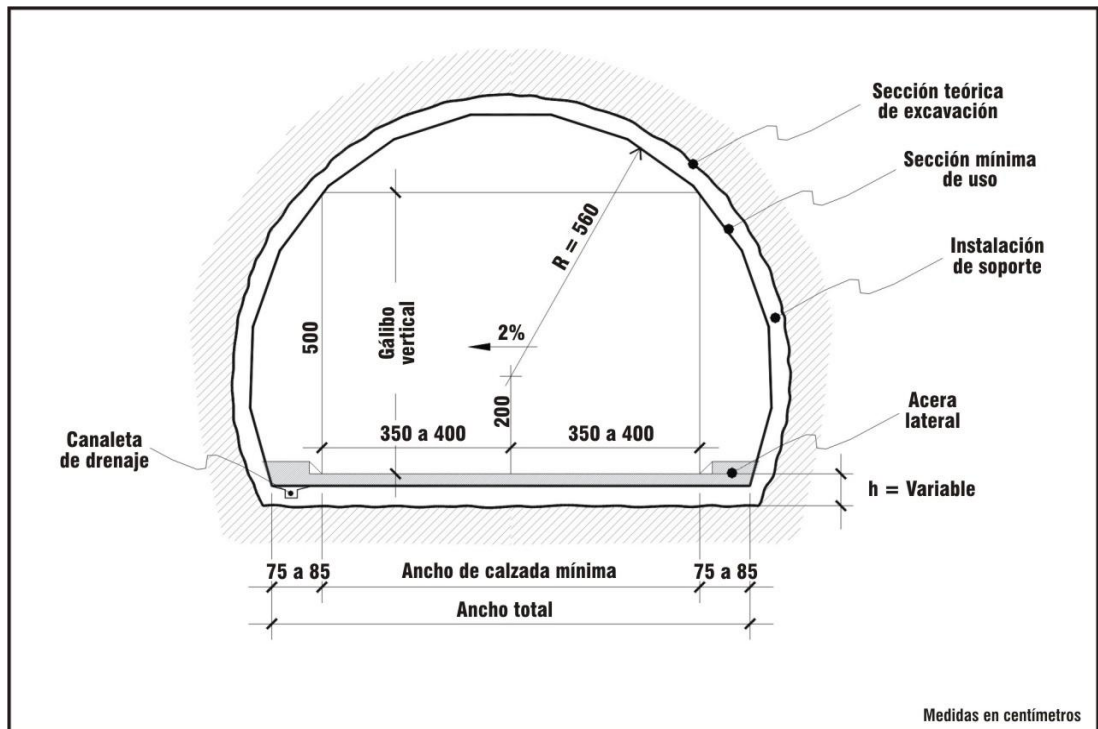
Siempre debe considerarse el espacio necesario para instalaciones de control de tráfico y equipos electromecánicos (ventilación, iluminación, comunicaciones, incendio, etc.), sin afectar el gálibo libre del túnel.

Se considera que se deben seguir como mínimo las siguientes condiciones de diseño para un túnel.

Dimensiones Mínimas de la Sección Transversal:

- ⊕ Gálibo vertical: 5 m o mayor, si se requiere.
- ⊕ Ancho de carriles: 3,5 a 4,0 m c/u.
- ⊕ Bermas: 0,5 m a cada lado de la calzada.
- ⊕ Aceras laterales: 0,75 a 0,85 m. Pueden aceptarse excepciones justificadas.
- ⊕ Pendiente transversal única: 2%.

En los túneles que formen parte de Autopistas con Velocidad de Proyecto ≥ 100 km/h, el ancho de las bermas deberá ser de 1,5 m pudiendo excepcionalmente disminuirse a 1,0 m.

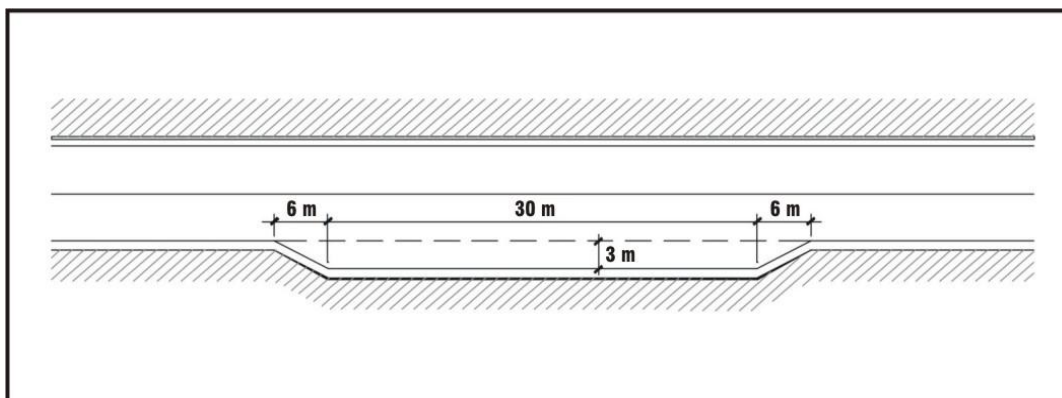


El diseño de la sección transversal puede considerar paredes verticales para situaciones especiales a definir por el proyectista. Las nuevas tendencias mundiales de diseño generan proyectos con paredes semicirculares, lo cual junto al factor estético y de amplitud aparente, otorga una mejor estabilidad al conjunto.

Áreas de estacionamiento de emergencia

En los túneles, las áreas de estacionamiento de emergencia se construyen para posibilitar el aparcamiento de vehículos en caso de emergencia. Eventualmente estos ensanches pueden acomodar instalaciones técnicas. Su diseño debe considerarse de acuerdo a lo indicado en la figura adjunta. Estas áreas deben estar especialmente iluminadas y señalizadas.

En túneles de la categoría C de más de 1.000 metros, se deberá diseñar áreas de estacionamiento de emergencia de tal manera que la distancia máxima entre ellos (o la salida o entrada del túnel) no sea mayor que 1.000 m. Dichas áreas tendrán la geometría que se indica en la figura respectiva.



Debe considerarse en todo diseño de túnel a lo menos una instalación como la señalada cada 1.000 m de distancia y debe proyectarse esta localización de emergencia a ambos lados, aunque no en el mismo sitio, es decir, en forma alternada una respecto a otra.

Como regla general, en túneles menores de 200 m no se requieren equipos de seguridad específicos. Sin embargo, casos particulares de túneles de menor longitud pueden requerirlos y túneles de mayor longitud pueden no requerirlos. Estos casos particulares deben ser considerados cuando se produzcan. En todo túnel se instalarán aquellos equipos adicionales de seguridad que por razones especiales de uso, sean recomendables, tomando como referencia general lo establecido en la Tabla 24.

2.3.4. INSTALACIONES ELÉCTRICAS

No se estima necesario disponer de equipos de emergencia en el caso de túneles Tipo A, que cubren la gama de flujos de tránsito-distancia, según se ilustra en la Tabla 24

2.3.5. CONTROL DE SEGURIDAD

SISTEMAS DE VENTILACIÓN DE TÚNELES

En consideración al TPDA y la pendiente longitudinal del túnel, no se estima necesario contemplar la instalación de sistema de ventilación.

SISTEMAS DE DETECCIÓN DE INCENDIOS

El proyecto de la especialidad debe indicar los sistemas con que se detectarán los eventuales incendios y/o siniestros equivalentes, estableciendo el tipo, la cantidad, localización e interconexión de los elementos sensores o detectores (calor y humo) y del control de la información (Central de Detección de Incendio) como asimismo de la red de transmisión.

Del mismo modo se deberá abordar el proyecto de los elementos de indicación y operación (detectores de apertura de puertas, detectores de posición de válvulas, de niveles de estanques, de flujo de agua en cañerías matrices de combate de incendio, pulsadores manuales dentro de gabinetes, etc.). Debe indicarse también, la tecnología con que debe procesarse la información, siendo recomendable que en este aspecto el proyecto se ajuste a la norma NFPA.

SISTEMAS DE COMBATE DE INCENDIOS

El proyecto debe dimensionar los sistemas con que se pretenden combatir los incendios. Incluyendo al menos, los siguientes:

a. Red de incendio con todo su equipamiento

- ⊕ Estanques (Deben dar gravitacionalmente la presión requerida).*
- ⊕ Sala de bombas (si la hubiera).*
- ⊕ Red de Cañerías.*
- ⊕ Válvulas.*

El cálculo de la red debe hacerse conforme a alguna norma establecida para este evento, por ejemplo, la NFPA.

b. Sistema de combate manual con todo su equipamiento

- Gabinetes de incendio y su equipamiento; cada 50 m en Túneles tipo C y cada 100 m en Tipo B*

- ⊕ Carrete con manguera.*
- ⊕ Teléfono.*
- ⊕ Hachas.*
- ⊕ Luz de emergencia.*
- ⊕ Extintores manuales de 6 kg.*

- Carros portátiles y su equipamiento*

- ⊕ Carro.*
- ⊕ Extintores de al menos 90 kg.*

• *Equipo de protección personal*

- ⊕ *Vestimenta.*
- ⊕ *Equipos respiradores autónomos.*

c. Sistema de manejo de aire con todo su equipamiento

- ⊕ *Ventiladores extractores de humos (eventuales).*
- ⊕ *Celosías anti humo – corta fuego.*
- ⊕ *Sistema de iluminación anti pánico.*
- ⊕ *Red eléctrica a prueba de incendio.*
- ⊕ *Programa contingente de operación de ventilación.*

d. Cortinas de Agua.

SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL

Para mantener un tránsito seguro y expedito en un túnel en operación, es necesario implementar un sistema eficaz de detección de incidentes, ya que su conocimiento temprano es de vital importancia para la oportuna y correcta operación de los sistemas de control instalados.

El sistema de control debe realizar el procesamiento de las señales captadas mediante el monitoreo para así determinar las condiciones de tráfico y congestión, indicando si existen condiciones que afecten el flujo normal de circulación vehicular, a fin de operar o actuar sobre los sistemas instalados en el túnel.

En consecuencia, el Proyecto de Monitoreo y Control debe desarrollar y especificar en detalle los sistemas y equipos requeridos para monitorear la operación del túnel, considerando los parámetros de operación correspondientes, según se trate de un Túnel Tipo B ó C.

Al estar el túnel del proyecto clasificado como Tipo A, no contemplará un sistema de monitoreo y control.

3. PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

| PRESUPUESTO SALADITO - SERRANÍA TAPECUA | | | | | | | |
|---|---|--------|--------------|-----------------------|----------------------|---------------|-----------------------|
| LONGITUD 46,23 KM - BERMAS 1,5m A CADA LADO | | | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | P. UNITARIO | P.TOTAL | P. UNITARIO | P.TOTAL |
| | | | | EN DÓLARES AMERICANOS | | EN BOLIVIANOS | |
| 1. | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | | |
| 1.1 | EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA | M3 | 4 832 075.82 | 2.05 | 9 905 755.44 | 15.58 | 75 283 741.35 |
| 1.2 | EXCAVACIÓN EN ROCA CON EXPLOSIVOS | M3 | 1 208 018.96 | 5.87 | 7 087 044.54 | 44.59 | 53 861 538.53 |
| 1.3 | CONFORMACIÓN DE TERRAPLEN | M3 | 3 172 369.12 | 2.11 | 6 693 698.83 | 16.04 | 50 872 111.13 |
| 1.4 | REMOCIÓN DE DERRUMBES | M3 | 241 603.79 | 1.45 | 350 325.50 | 11.02 | 2 662 473.78 |
| | SUBTOTAL MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | 24 036 824.31 | | 182 679 864.79 |
| 2. | PAVIMENTO | | | | | | |
| 2.1 | PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE CAPA SUBBASE | M3 | 106 978.99 | 8.13 | 869 739.22 | 61.79 | 6 610 018.07 |
| 2.2 | PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE CAPA BASE | M3 | 80 459.62 | 11.78 | 947 814.28 | 89.53 | 7 203 388.55 |
| 2.3 | IMPRIMACIÓN BITUMINOSA (SUMINISTRO Y EJECUCIÓN) | M2 | 476 169.00 | 1.39 | 661 874.91 | 10.56 | 5 030 249.32 |
| 2.4 | TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE | M2 | 138 690.00 | 1.70 | 235 773.00 | 12.92 | 1 791 874.80 |
| 2.5 | CONCRETO ASFÁLTICO (SUMINISTRO DE MATERIALES, TRANSPORTE Y EJECUCIÓN) | M3 | 16 873.95 | 185.31 | 3 126 911.67 | 1 408.36 | 23 764 528.73 |
| | SUBTOTAL PAVIMENTO | | | | 5 842 113.09 | | 44 400 059.47 |
| 3. | OBRAS DE DRENAJE | | | | | | |
| 3.1 | EXCAVACIÓN PARA OBRAS DE ARTE | M3 | 9 674.72 | 2.10 | 20 304.02 | 15.95 | 154 310.56 |
| 3.2 | RELLENO Y COMPACTADO | M3 | 9 684.00 | 2.05 | 19 852.20 | 15.58 | 150 876.72 |
| 3.3 | HORMIGÓN CICLOPEO | M3 | 4 321.38 | 65.48 | 282 963.91 | 497.65 | 2 150 525.74 |
| 3.4 | HORMIGÓN TIPO A | M3 | 527.83 | 202.74 | 107 011.85 | 1 540.82 | 813 290.05 |
| 3.5 | ACERO ESTRUCTURAL | KG | 58 061.08 | 2.04 | 118 444.60 | 15.50 | 900 178.98 |
| 3.6 | HORMIGÓN SIMPLE TIPO E | M3 | 8 132.40 | 83.15 | 676 209.06 | 631.94 | 5 139 188.86 |
| 3.7 | GAVIONES | M3 | 8 200.00 | 42.50 | 348 500.00 | 323.00 | 2 648 600.00 |
| 3.8 | COLCHONETAS DE GABION | M3 | 738.00 | 76.50 | 56 457.00 | 581.40 | 429 073.20 |
| 3.9 | ALCANTARILLA METÁLICA ARMCO D 1m | M | 1 335.00 | 160.00 | 213 600.00 | 1 216.00 | 1 623 360.00 |
| 3.10 | ALCANTARILLA METÁLICA ARMCO D 2m | M | 75.00 | 290.00 | 21 750.00 | 2 204.00 | 165 300.00 |
| | SUBTOTAL OBRAS DE DRENAJE | | | | 1 865 092.65 | | 14 174 704.11 |
| 4. | OBRAS DE ARTE MAYOR | | | | | | |
| 4.1 | EXCAVACIÓN MANUAL | M3 | 6 655.23 | 2.10 | 13 967.11 | 15.95 | 106 150.03 |
| 4.2 | HORMIGÓN TIPO A | M3 | 5 538.05 | 202.74 | 1 122 784.26 | 1 540.82 | 8 533 160.35 |
| 4.3 | ACERO ESTRUCTURAL | KG | 580 659.06 | 2.04 | 1 184 544.49 | 15.50 | 9 002 538.11 |

TRABAJO DIRIGIDO: PROYECTO ASFALTADO TRAMO VIAL SALADITO-SERRANIA TAPECUA

SUB TRAMO "SALADITO - SERRANÍA SERERÉ"

| | | | | | | | |
|---|--|------|------------|------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 4.4 | RELLENO Y COMPACTADO | M3 | 2 622.48 | 2.05 | 5 376.08 | 15.58 | 40 858.24 |
| 4.5 | HORMIGÓN TIPO E | M3 | 122.50 | 83.15 | 10 185.88 | 631.94 | 77 412.65 |
| 4.6 | JUNTAS DE DILATACIÓN | M | 167.15 | 11.97 | 2 000.90 | 90.98 | 15 206.82 |
| 4.7 | APOYOS DE NEOPRENO | DM3 | 568.00 | 54.73 | 31 085.50 | 415.93 | 236 249.83 |
| 4.8 | BARANDADO PASAMANOS DE HªAº | M | 992.00 | 99.58 | 98 780.71 | 756.79 | 750 733.43 |
| 4.9 | DRENAJE EN MUROS Y CALZADA | M | 218.66 | 4.60 | 1 005.84 | 34.96 | 7 644.35 |
| 4.10 | LANZAMIENTO DE VIGAS PRETENSADAS | VIGA | 46.00 | 2 582.50 | 118 794.94 | 19 626.99 | 902 841.53 |
| SUBTOTAL OBRAS DE ARTE MAYOR | | | | | 2 588 525.70 | | 19 672 795.35 |
| 5. | OBRAS COMPLEMENTARIAS | | | | | | |
| 5.1 | SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL | M | 172 900.20 | 0.72 | 124 488.14 | 5.47 | 946 109.89 |
| 5.2 | SEÑALIZACIÓN VERTICAL PREVENTIVA PROV. Y COLOC. | PZA | 33.00 | 104.92 | 3 462.27 | 797.37 | 26 313.27 |
| 5.3 | SEÑALIZACIÓN VERTICAL RESTRICTIVA PROV. Y COLOC. | PZA | 100.00 | 129.87 | 12 986.53 | 986.98 | 98 697.65 |
| 5.4 | BALIZADOR BIDIRECCIONAL 10x10x2 | PZA | 4 400.00 | 6.00 | 26 400.00 | 45.60 | 200 640.00 |
| 5.5 | SEÑALIZACIÓN VERTICAL DE DESTINO PROV. Y COLOC. | PZA | 6.00 | 140.00 | 840.00 | 1 064.00 | 6 384.00 |
| 5.6 | MURETES DE SEGURIDAD DE HORMIGÓN CICLÓPEO | M | 1 000.00 | 48.00 | 48 000.00 | 364.80 | 364 800.00 |
| SUBTOTAL OBRAS COMPLEMENTARIAS | | | | | 216 176.95 | | 1 642 944.81 |
| 6. | TRABAJO AMBIENTAL | | | | | | |
| 6.1 | TRABAJO AMBIENTAL | GLB | 1.00 | 351 020.64 | 351 020.64 | 2 667 756.86 | 2 667 756.86 |
| SUBTOTAL TRABAJO AMBIENTAL Y COSTOS DE INDEMNIZACIÓN | | | | | 351 020.64 | | 2 667 756.86 |
| COSTO TOTAL DE LA CONSTRUCCIÓN | | | | | 34 899 753.34 | | 265 238 125.39 |
| COSTO DE INDEMNIZACIÓN | | | | | 148 173.08 | 148 173.08 | 1 126 115.41 |
| COSTO FINAL DEL PROYECTO | | | | | 35 047 926.42 | | 266 364 240.80 |

3.1. Organización del Proyecto

En la organización de los trabajos se deberán considerar las recomendaciones establecidas en los estudios técnicos y ambientales del proyecto. Se debe organizar los trabajos en tal forma que los procedimientos aplicados sean compatibles con los requerimientos técnicos necesarios, las medidas de manejo ambiental establecidas en el plan de manejo ambiental del proyecto, los requerimientos establecidos y los permisos, autorizaciones y concesiones de carácter ambiental y administrativo y demás normas nacionales y regionales aplicables al desarrollo del proyecto. Así mismo la organización de los trabajos deberá considerar la protección de los trabajadores contra riesgos de accidente y daños a la salud en cuanto sea razonable y factible evitar.

Los trabajos se deberán ejecutar de manera que no causen molestias a personas, ni daños a estructuras, servicios públicos, cultivos y otras propiedades cuya destrucción o menoscabo no estén previstos en los planos, ni sean necesarios para la construcción de las obras.

Igualmente, se minimizará, de acuerdo con las medidas de manejo ambiental y los requerimientos establecidos por las autoridades ambientales, las afectaciones sobre recursos naturales y la calidad ambiental del área de influencia de los trabajos.

Se debe asegurar la vigilancia necesaria para que los trabajadores realicen su trabajo en las mejores condiciones de seguridad y salud.

Se asignara trabajos que sean adecuados a la edad, aptitud física, estado de salud y capacidades de los trabajadores.

El avance físico de las obras en el tiempo deberá ajustarse al programa de trabajo aprobado, de tal manera que permita el desarrollo armónico de las etapas constructivas siguientes a la que se esté ejecutando.

Las acciones contempladas para la construcción vial de este proyecto estarán ligadas a las siguientes áreas, frentes de trabajo y las actividades que forman parte de cada una de ellas:

Responsabilidades especiales del proyecto

- *Relaciones con la comunidad y ocupantes de predios a expropiar.*
- *Expropiación de tierras privadas.*
- *Relocalización involuntaria de personas.*
- *Seguridad vial.*

Seguridad industrial y salud ocupacional

- *Responsabilidades.*
- *Contratación de personal.*
- *Salud ocupacional.*
- *Seguridad vial.*
- *Relaciones con la comunidad.*
- *Normas Iniciales.*
- *Normas para la Compañía.*

- *Normas Generales de Comportamiento del Personal.*
- *Medidas Sanitarias y de Seguridad Ambiental.*
- *Normas Especiales para Áreas Ambientales Sensitivas.*

Medidas Generales de Protección Ambiental

- *Drenajes.*
- *Estabilización de Taludes.*
- *Procesos Erosivos.*
- *Explotación de Canteras y Manejo de Botaderos.*
- *Campamentos y Patio de Maquinarias.*
- *Señalización.*
- *Mantenimiento.*
- *Calidad del aire y ruido.*
- *Calidad, cantidad y regularidad del agua.*
- *Contaminación y compactación del suelo.*
- *Vegetación, flora y fauna.*
- *Aspectos socioeconómicos.*
- *Patrimonio arqueológico, histórico y cultural.*
- *Áreas legalmente protegidas y zonas restringidas.*

Sistemas de Drenaje

- *Alcantarillas.*
- *Cunetas.*
- *Zanjas de Coronación.*
- *Subdrenajes en las Áreas Húmedas.*
- *Puentes Menores.*

Puentes

- *Uso de ataguías y desvíos de cauces.*
- *Construcción de puentes.*
- *Limpieza y restauración ambiental del sitio.*

Campamentos, Talleres y Depósitos

- *Ubicación.*
- *Instalación.*
- *Operación.*
- *Abandono y restauración del área.*

Plantas de Producción de Materiales

- *Ubicación.*
- *Instalación.*

- *Operación.*
- *Abandono y restauración del área.*

Despeje y Limpieza de Faja y Terreno

- *Limpieza de faja.*
- *Despeje de terreno.*
- *Despeje de vegetación que crece bajo los puentes.*
- *Disposición de desechos.*

Sítios de Préstamos y Canteras

- *Autorización Ambiental Previa.*
- *Ubicación.*
- *Instalación.*
- *Explotación de sitios.*
- *Explotación en cauces fluviales.*
- *Abandono y restauración ambiental del área.*

Depósitos y Almacenes

- *Ubicación.*
- *Instalación.*

Movimiento de tierras

- *Excavaciones de suelos.*
- *Construcción y ensanche de terraplenes.*
- *Remoción y disposición de materiales.*
- *Obras de drenaje.*
- *Perfilado de taludes.*
- *Uso de maquinaria.*
- *Transporte de suelos y áridos.*
- *Transporte y elaboración de materiales.*
- *Construcción de la capa de rodadura.*
- *Estructuras complementarias.*
- *Limpieza y restauración ambiental de área.*
- *Mantenimiento rutinario.*

Caminos de Servicio

- *Construcción y manutención.*
- *Restauración ambiental de accesos.*

Demoliciones y Uso de Explosivos

- *Demoliciones de puentes y otras estructuras.*
- *Disposición de materiales removidos.*
- *Uso y transporte de explosivos.*

3.2. RELACIÓN DE PERSONAL Y EQUIPO

Todos los empleados y obreros para la obra serán contratados por el constructor, quien deberá cumplir con todas las disposiciones legales sobre la contratación del personal. Así mismo, se obliga al pago de todos los salarios y beneficios sociales que se establezcan en relación con los trabajadores y empleados, ya que el personal que contrata el Ejecutor de obra no tiene carácter oficial y, en consecuencia, sus relaciones trabajador - empleador se rigen por lo dispuesto en el Código del Trabajo y demás disposiciones concordantes y complementarias.

El constructor debe asegurarse de que todos los trabajadores estén bien informados de los riesgos relacionados con sus labores y con la conservación del medio ambiente de su zona de trabajo, el conocimiento de las leyes y reglamentos laborales, las normas técnicas y las instrucciones relacionado con la prevención de accidentes y los riesgos para la salud.

El personal profesional, técnicos, empleados y obreros tendrán la suficiente capacidad y solvencia técnica y moral para el desempeño de sus trabajos en las áreas asignadas para cada uno.

Se deberá mantener en el sitio de la obra los equipos adecuados en la cantidad requerida, de manera que se garantice su ejecución de acuerdo con los planos, especificaciones de construcción, programas de trabajo y dentro de los plazos previstos.

Los equipos de construcción se deberán mantener en óptimas condiciones, con el objeto de evitar demoras o interrupciones debidas a daños en los mismos. Las máquinas, equipos y herramientas manuales deberán ser de buen diseño y construcción teniendo en cuenta los principios de la seguridad, la salud y la ergonomía en lo que tañe a su diseño.

Deben tener como edad máxima la que corresponde a su vida útil. La mala calidad de los equipos o los daños que ellos puedan sufrir.

El mantenimiento o la conservación adecuada de los equipos, maquinaria y herramientas no solo es básico para la continuidad de los procesos de producción y para un resultado satisfactorio y óptimo de las operaciones a realizarse sino que también es de suma importancia en cuanto a la prevención de los accidentes.

Por lo que se deberá:

- *Establecer un sistema periódico de inspección que pueda prever y corregir a tiempo cualquier deficiencia.*
- *Programar una política de mantenimiento preventivo sistemático.*
- *Llevar un registro de inspección y renovación de equipos, maquinarias y herramientas, lo cual pondrá a disposición del Supervisor en el momento que sea requerido.*

Control de Calidad

Personal: *Se deberá establecer para la obra una organización para la ejecución del control de calidad, paralela a la organización de ejecución de obra, compuesta como mínimo por: Ingeniero director de calidad, Laboratorista jefe (Ingeniero civil o tecnólogo con experiencia en el manejo de laboratorios de*

suelos y pavimentos), dos laboratoristas inspectores, tres Ayudantes de laboratorio (Personal auxiliar para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo)

Equipo: Se contemplará para el control de calidad de los trabajos que esté compuesto por: Camionetas Doble Cabina (4x4) Potencia neta mínima 75 Kw (100 HP), Equipo de campo, Equipo de ensayos de laboratorio y Equipo de topografía y mediciones.

| DESCRIPCIÓN |
|--|
| Tamiz Suelos 8 ½" de diámetro y altura útil de 5 cm. ASTTHO. M – 27 (3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40) |
| Tamiz Hormigón 8 ½" de diámetro y altura útil de 5 cm. ASTTHO. M – 27 (1/4", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100) |
| Tamiz Asfaltos 8 ½" de diámetro y altura útil de 5 cm. ASTTHO. M – 27 (1", 3/4", ½", 3/8", N° 4, N° 8, N° 30, N° 40) |
| Tamiz N° 200 8 ½" de diámetro y altura útil de 5 cm. ASTTHO. M – 27 |
| Prensa Manual C.B.R. de 60 KN de capacidad (con dos anillos dinamométricos más con reloj comparador de 5000 Kg y 1000 Kg) |
| Molde C.B.R. 6" de acero cadmiado (Plato perforado, vástago y contrapeso de 10 libras) |
| Molde Proctor 6" de acero cadmiado |
| Martillo de 10 lb. Para ensayo T-180 |
| Martillo para ensayo Marshall |
| Estensómetro (0.01 mm) con trípode |
| Probeta de vidrio 1000 ml |
| Probeta de vidrio 500 ml |
| Probeta de vidrio 100 ml |
| Molde para Hormigón 15 cm diámetro y 30 cm de alto |
| Cono de Abrams |
| Equipo casagrande manual base de caucho (con vidrio esmerilado, ranurador metátilo y espátula) |
| Estufa eléctrica para desecación de 100 lt. de capacidad (220 volts, frecuencia 60 Hz, 300 °C) |
| Balanza mecánica triple brazo 30 Kg de capacidad, 1gr de sensibilidad |
| Balanza mecánica triple brazo 2610 gr. de capacidad, 0.1 gr. de sensibilidad |
| Balanza mecánica triple brazo 311 gr de capacidad, 0.01 gr. de sensibilidad |
| Cápsulas de aluminio con tapa de 40 x 25 mm de 30 ml de capacidad para límites |
| Cápsulas de aluminio con tapa de 60 x 40 mm de 120 ml de capacidad para humedades |
| Densímetro Nuclear con fuente de cesio 137 y americio 241 |
| Prensa Hidráulica Eléctrica capacidad de 100/20 Tn. Con dos manómetros |
| Viga Benkelman relación de brazos 1 a 4 |

Topografía y Georeferenciación

Personal: Se implementarán cuadrillas de topografía en número suficiente para tener un flujo ordenado de operaciones que permitan la ejecución de las obras de acuerdo a los programas y cronogramas. El personal deberá estar suficientemente tecnificado y calificado para cumplir de manera adecuada con sus funciones en el tiempo establecido. Las cuadrillas de topografía estarán bajo el mando y control de un Ingeniero especializado en topografía.

Equipo: Se deberá implementar el equipo de topografía necesario, capaz de trabajar dentro de los rangos de tolerancia especificados. Así mismo se deberá proveer el equipo de soporte para el cálculo, procesamiento y dibujo.

- **ESTACIÓN TOTAL**, Alcance ≥ 3500 m Con prisma (infrarrojo), Con láser ≥ 400 m, Prismas (incluyen bastón), Precisiones Angular 3" y Distancia 1,5mm+2 ppm, Plomada laser, Puntero Laser, Pantalla $\geq 160 \times 280$ pixeles

- **NIVEL AUTOMÁTICO** (incluye Mira de aluminio con código de barras), Precisión (por Km de medición doble), Medición electrónica 1,0 mm, Medición óptica 2,5 mm, Alcance Con mira de código de barras 100 m Memoria ≥ 1000 puntos.

Mantenimiento de Tránsito Temporal y Seguridad Vial

Personal: Se deberá proveer cuadrillas de control de tránsito en número suficiente, el que estará bajo el mando de un controlador capacitado en este tipo de trabajo. La cuadrilla de nivelación y bacheo estará conformada por un operador de motoniveladora, su ayudante, chofer de cisterna y en caso de ser necesario choferes de volquete y operador de cargador frontal.

Equipo: Se empleará, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, con la frecuencia que sea necesaria.

Básicamente se pondrá para el servicio de nivelación una motoniveladora y camión cisterna; volquetes y cargador en caso sea necesario efectuar bacheos.

Desbroce y Limpieza

Personal: Esta cuadrilla estará conformada por un operador de motosierra y sus ayudantes, operador de excavadora a orugas, y en caso de transportar material proveniente de la capa vegetal, se dispondrá el empleo de operador para cargador frontal y choferes de volquetes en número suficiente.

Equipo: Se emplearán los equipos más apropiados, básicamente se dispondrá Motosierra, excavadora a orugas (remoción de tocones y raíces), cargador frontal, volquetes (Remoción de capa Vegetal).

Excavación no clasificada-excavación en roca

Personal: Se implementarán cuadrillas de movimiento de tierras en número suficiente para tener un flujo ordenado de operaciones que permitan la ejecución de las obras de acuerdo a los programas y cronogramas. El personal deberá estar suficientemente tecnificado y calificado para cumplir de manera adecuada con sus funciones en el tiempo establecido. Las cuadrillas de movimiento de tierras estarán bajo el mando y control de un Ingeniero con experiencia en movimiento de tierras.

Equipo: Se deberá implementar el equipo de movimiento de tierras necesario, capaz de trabajar excavar, remover, cargar, transportar hasta colocar en los sitios de desecho. Contemplará, también, el equipo para la excavación de bloques con volumen individual mayor de un metro cúbico (1 m^3), que para su fragmentación requieran el uso de explosivos.

- Tractores de cadenas potencia volante 300 KW
- Excavadoras hidráulicas (de cadenas) potencia en el volante 180 KW
- Cargadores de ruedas potencia en el volante 200 KW
- Camión de volteo 6X4 DE 12M3 potencia en el volante 250 KW
- Martillos manuales neumáticos para perforación en roca mínimo 2.000 Golpes por minuto, incluye engrasador automático de línea Caudal de aire mínimo 3.400 lxm a 7 bar.
- Perforador hidráulico (track drill) autopulsado Potencia neta mínima 90 KW

Conformación de terraplén-SubBase-Base

Personal: Se deberá proveer cuadrillas Conformación de terraplén, SubBase y Base en número suficiente, el que estará bajo el mando de un controlador capacitado en este tipo de trabajo. La cuadrilla de estará

conformada por operadores de motoniveladora, sus ayudantes, choferes de cisterna, camiones de volteo, operador de cargador frontal, operadores de compactadores de rodillo liso vibratorio.

Equipo: Se empleará, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, con la frecuencia que sea necesaria:

- Camión cisterna de agua de 10.000 litros (Potencia neta mínima 205KW)
- Compactadores vibratorios de un rodillo-pata de cabra (125 – 150 Hp)
- Motoniveladora (Potencia neta al volante 93 kW 125 hp)
- Cargadores de ruedas potencia en el volante 200 KW
- Camión de volteo 6X4 DE 12M3 potencia en el volante 250 KW

Imprimación

Personal: Se deberá proveer cuadrillas de limpieza manual y mecánica en número suficiente, el que estará bajo el mando de un controlador capacitado en este tipo de trabajo. La cuadrilla de limpieza estará conformada por un operador de compresora o barredora, y en caso de ser necesario chofer de cisterna para el lavado de sectores para limpieza con agua, para la imprimación Chofer Camión distribuidor de asfalto, operador de bomba de distribución.

Equipo: Se empleará, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, con la frecuencia que sea necesaria. Básicamente se pondrá para el servicio de limpieza e imprimación.

- Barredoras o sopladoras mecánicas
- Camión distribuidor de Asfaltos de Cap. 10.000 litros (Potencia neta mínima 205KW)

Concreto Asfáltico

Personal: Se deberá establecer para la obra una organización para la ejecución del CONCRETO ASFÁLTICO (SUMINISTRO DE MATERIALES, TRANSPORTE Y EJECUCIÓN), compuesta como mínimo por: Ingeniero director, encargado (Ingeniero civil o tecnólogo con experiencia en el manejo de pavimentos), dos laboratoristas inspectores, Ayudante de laboratorio (Personal auxiliar para la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo), operador de equipo de producción de áridos, operador de planta productora de mezcla asfáltica, operador de equipo de pavimentación, Choferes camión de volteo, para el procesamiento, operador de cargador frontal.

Equipo: Se contemplará para la ejecución del CONCRETO ASFÁLTICO (SUMINISTRO DE MATERIALES, TRANSPORTE Y EJECUCIÓN) básicamente el siguiente equipo:

- Camiones de volteo 6X4 DE 12M3 potencia en el volante 250 KW
- Cargadores de ruedas potencia en el volante 200 KW
- Equipo de producción de áridos-conjunto de triturado y zarandeado en dos etapas Cap. Producción 100-150 Tn/h.
- planta productora de mezcla asfáltica tipo tambor secador-mezclador
- Equipo de pavimentación — perfiladoras de pavimento potencia en el volante 201 KW
- Compactadores vibratorios de un rodillo 125 – 150 Hp
- Compactadores Neumáticos.

Obras de drenaje y Obras de arte Mayor

Personal: Se deberá proveer cuadrillas de Albañiles en número suficiente, el que estará bajo el mando de un controlador capacitado en este tipo de trabajo. La cuadrilla de Albañiles estará conformada por Albañiles, ayudantes de albañil y obreros

Equipo: Se empleará, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, con la frecuencia que sea necesaria. Básicamente se pondrá para el servicio de obras de arte el siguiente equipo:

- Camión de estacas de 6tn Potencia mínima 150 KW
- Mezcladora basculante de hormigón Cap. 320 Lts. Potencia del motor (HP) ≥ 9 HP
- Vibradora de hormigón pendular, Manguera Vibradora 5 m. de largo, Aguja o Cabezal 35 mm. Potencia (HP) ≥ 6 , Cilindrada 190 cc.
- Vibroapisonador manual, Ancho Zapata 280 mm, Motor4T – Gasolina, Potencia del motor ≥ 4 HP, Golpes por minuto (min-1) > 650 , Avance (m/min), ≥ 15 .

3.3. MATERIALES COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

Todos los materiales necesarios para la ejecución de las obras serán suministrados por el ejecutor de la obra, por lo que es de su responsabilidad la selección de los mismos, de las fuentes de aprovisionamiento del Proyecto, teniendo en cuenta que los materiales deben cumplir con todos los requisitos de calidad exigidos en estas Especificaciones y requerimientos establecidos en los Estudios Técnicos y Ambientales del Proyecto.

Deberá conseguirse oportunamente todos los materiales y suministros que se requieran para la construcción de las obras y mantendrá permanentemente una cantidad suficiente de ellos para no retrasar la progresión de los trabajos. En el caso de zonas caracterizadas por épocas de lluvias, huaycos, desbordes de ríos y fuertes variaciones climáticas suele darse la interrupción de las vías de comunicación lo cual impide el normal suministro de materiales, víveres y medicinas. Se deberá elaborar un Plan de Emergencia de previsión de almacenamiento de stock que cubra un lapso no menor de 30 días. La cuantificación del stock se elaborará en base a una previa evaluación de los consumos mensuales y en función de las diferentes etapas del proceso de ejecución de la obra.

Los materiales suministrados y demás elementos que se emplee en la ejecución de las obras deberán ser de primera calidad y adecuados al objeto que se les destina.

Certificación de Calidad

Los materiales que sean utilizados en una obra que sean fabricados comercialmente deben estar respaldados por certificados del productor en el que se indique el cumplimiento de los requisitos de calidad que se establecen en estas especificaciones. La certificación debe ser entregada para cada lote de materiales o partes entregadas en la obra. Se presentará certificados de calidad emitidos por organismos nacionales oficiales de control de calidad, en forma obligatoria.

Así mismo los materiales que por su naturaleza química o su estado físico presenten características propias de riesgo deben contar con las especificaciones de producción respecto a su manipulación, transporte, almacenamiento así como las medidas de seguridad a ser tenidas en cuenta. En caso que ello

no sea proporcionado por el productor deberá ser respaldado por una ficha técnica elaborada por un profesional competente.

De ser necesario, se solicitará la ejecución de pruebas confirmatorias en cualquier momento en cuyo caso si se encuentran que no están en conformidad con los requisitos establecidos serán rechazados estén instalados o no. Copias de los certificados de calidad por el fabricante o de los resultados de las pruebas confirmativas deben ser entregadas al Supervisor.

Almacenamiento de Materiales

Los materiales tienen que ser almacenados de manera que se asegure la conservación de sus cualidades y aptitudes para la obra. Los materiales almacenados, aun cuando hayan sido aprobados antes de ser almacenados, pueden ser inspeccionados, cuantas veces sean necesarias, antes de que se utilicen en la obra. Los materiales almacenados tienen que ser localizados de modo que se facilite su rápida inspección. Cualquier espacio adicional que se necesite para tales fines tiene que ser provisto.

En el almacenamiento de los materiales se debe garantizar medidas mínimas de seguridad a fin de evitar accidentes que afecten físicamente a los trabajadores y personas que circulen en la obra.

Preservando que:

- (1) Los materiales sean almacenados fuera del área de tránsito peatonal y de traslado de maquinarias y equipos.
- (2) Los materiales no sean apilados contra tabiques y paredes sin comprobar la suficiente resistencia para soportar la presión. Se recomienda una distancia mínima de medio metro (0,50 m) entre el tabique o pared y las pilas de material.
- (3) Las barras, tubos, maderas, etc., se almacenen en casilleros para facilitar su manipuleo y así no causar lesiones físicas al personal.
- (4) Cuando se trate de materiales pesados como tuberías, barras de gran diámetro, tambores, etc., se arrumen en capas debidamente esparcidas y acuñaadas para evitar su deslizamiento y facilitar su manipuleo.
- (5) En el almacenamiento de los materiales que por su naturaleza química o su estado físico presenten características propias de riesgo se planifique y adopten las medidas preventivas respectivas según las especificaciones técnicas dadas por el productor o en su defecto por un personal competente en la materia.
- (6) Las medidas preventivas así como las indicaciones de manipulación, transporte y almacenamiento de los materiales de riesgo sean informadas a los trabajadores mediante carteles estratégicamente ubicados en la zona de almacenamiento.
- (7) El acceso a los depósitos de almacenamiento esté restringido a las personas autorizadas y en el caso de acceso a depósitos de materiales de riesgo las personas autorizadas deberán estar debidamente capacitadas en las medidas de seguridad a seguir y así mismo contar con la

protección adecuada requerida según las especificaciones propias de los materiales en mención.

Transporte de los Materiales

Todos los materiales transportados a obra o generado durante el proceso constructivo tienen que ser manejados en tal forma que conserven sus cualidades y aptitudes para el trabajo. Los agregados tienen que ser transportados del lugar de almacenaje o de producción hasta la obra en vehículos cubiertos y asegurados a la carrocería, de tal modo que eviten la pérdida o segregación de los materiales después de haber sido medidos y cargados.

El transporte de los materiales debe sujetarse a las medidas de seguridad según las normas vigentes y deben estar bajo responsabilidad de personas competentes y autorizadas. Los medios empleados para el transporte de materiales deben ser adecuados a la naturaleza, tamaño, peso, frecuencia de manejo del material y distancia de traslado para evitar lesiones físicas en el personal encargado del traslado de los materiales y reducir el riesgo de accidentes durante el proceso de traslado.

Los equipos y vehículos de transporte de materiales deberán ser manipulados y manejados por personal autorizado y debidamente capacitado para ello.

Inspección en las Plantas

Se puede llevar a cabo la inspección de materiales en la fuente de origen.

Las plantas de producción serán inspeccionadas periódicamente para comprobar su cumplimiento con métodos especificados y se pueden obtener muestras de material para ensayos de laboratorio para comprobar su cumplimiento con los requisitos de calidad del material.

Esta puede ser la base de aceptación de lotes fabricados en cuanto a la calidad. En caso de que la inspección se efectúe en la planta, el Supervisor tiene que tener la cooperación y ayuda del Ejecutor de obra y del productor de los materiales y contar con libre acceso a ella.

En las plantas de producción de agregados, bases granulares, mezclas asfálticas, concretos portland, dosificadoras y cualquier otra instalación en obra, el Supervisor tiene que tener libre acceso en todo momento, así como en los laboratorios de control de calidad.

Materiales Defectuosos

Todo material rechazado por no cumplir con las especificaciones exigidas deberá ser restituido y se debe obligar a retirar de la obra los elementos y materiales defectuosos.

Topografía y Georeferenciación .-

Se proveerá suficiente material adecuado para la cimentación, monumentación, estacado, pintura y herramientas adecuadas. Las estacas deben tener área suficiente que permita anotar marcas legibles.

Mantenimiento de Tránsito Temporal y Seguridad Vial.-

Las señales, dispositivos de control, colores a utilizar y calidad del material estará de acuerdo con lo normado en el Manual de Dispositivos para "Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras" y

todos ellos tendrán la posibilidad de ser trasladados rápidamente de un lugar a otro, para lo que deben contar con sistemas de soporte adecuados.

Se deberá instalar de acuerdo a los frentes de trabajo, todas las señales y dispositivos necesarios en cada fase de obra y cuya cantidad no podrá ser menor en el momento de iniciar los trabajos a lo que se indica:

| | |
|--|------------------|
| Señales Restrictivas | 20 unid |
| Señales Preventivas | 30 unid. |
| Barreras o Tranqueras (pueden combinarse con barriles) | 30 unid. |
| Conos de 70 cm. de alto | 50 unid. |
| Lámparas Destellantes accionadas a batería o electricidad con sensores que los desconectan durante el día | 30 unid. |
| Banderines | 10 unid. |
| Señales Informativas | 20 unid. |
| Chalecos de Seguridad, Silbatos | 20 unid. De c/u. |

Concreto Asfáltico

| DESCRIPCIÓN DEL ITEM | UNIDAD |
|--|-----------|
| Cemento Asfáltico 60-70 a granel | Tn |
| Emulsión Asfáltica Catiónica modificada con polímeros | Lt |
| Kerosene | Lt |

Cemento Portland

| DESCRIPCIÓN DEL ITEM | UNIDAD |
|---|--------------|
| Cemento Portland, Norma Boliviana, Norma AASHTO M85 o la Norma ASTM-C150.(Bolsa 50 Kg) | Bolsa |

Acero Estructural

ACERO ESTRUCTURAL CORRUGADO Limite de Fluencia ≥ 4200 (Kg/cm²), Longitud de la barra ≥ 12 (m)

CABLE DE PRETENSADO PARA PUENTES, Cantidad de Hilos 7 hilos, Diámetro 1/2 (plg), **Baja Relajacion**, Grado 270 Ksi.

| DESCRIPCIÓN ITEM | UNIDAD |
|---|--------------|
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 6$ mm (1/4 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 8$ mm (5/16 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 10$ mm (3/8 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 12$ mm (1/2 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 16$ mm (5/8 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 20$ mm (3/4 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Acero estructural corrugado $\varnothing = 25$ mm (1 plg)</i> | <i>BARRA</i> |
| <i>Cable de pretensado de 7 hilos $\varnothing = 1/2$ plg</i> | <i>METRO</i> |

Encofrado

| Item de Pago | Unidad de Pago |
|-------------------------|---------------------|
| Encofrado cara no vista | metro cuadrado (m2) |
| Encofrado cara vista | metro cuadrado (m2) |

Señalización Horizontal y Vertical

| DESCRIPCIÓN DE LOS ITEMS | UNIDAD |
|---|--------|
| Intersección con camino Lateral a la Izquierda (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Intersección con camino Lateral a la Derecha (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Intersección en Y (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Puente Angosto (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Peatones en la Vía (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Zona escolar (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Fin de pavimento (Cuadrado 75x75 cm) | Pza |
| Pare (Octágono 75cm de altura) | Pza |
| Ceda el Paso (Triángulo equilátero de 90 cm de lado) | Pza |
| No Adelantar (Rectángulo 75x115 cm) | Pza |
| Velocidad máxima (Rectángulo 75x115 cm) | Pza |
| Primeros auxilios (Rectángulo 65x115 cm) | Pza |
| Señal Informativa de destino (Dos tableros dimensiones 40x240 cm) | Juegos |
| Señal informativa del Lugar (Un tableros dimensiones 40x120 cm) | Pza |
| Señal Informativa de destino (Tres tableros dimensiones 40x240 cm) | Juegos |
| Señal informativa Puente (Un tableros dimensiones 40x180 cm) | Pza |
| Señal Informativa de Destino (Un tableros dimensiones 40x240 cm) | Pza |
| Pintura reflectiva a base de resinas acrílicas para demarcación vial color amarilla (tacho por 18 litros) | TACHO |
| Pintura reflectiva a base de resinas acrílicas para demarcación vial color blanca (tacho por 18 litros) | TACHO |
| Microesferas de vidrio tipo drop-on (bolsa p/25 kg) | Bolsas |

Combustibles

| Descripción | Unidad |
|-------------|--------|
| Diesel | Litros |
| Gasolina | Litros |

Lubricantes

| Descripción | Nº de Parte | Unidad |
|----------------------------|----------------------|----------|
| Aceite para motor diesel | SAE 15W40 API CI4/SJ | TAMBORES |
| Aceite hidráulico | SAE 10W30 | TAMBORES |
| Aceite mando final | SAE 30 / TO-4 | TAMBORES |
| Aceite hidráulico | SAE 10 / TO-4 | TAMBORES |
| Aceite para transmisión | SAE 85w140 | TAMBORES |
| Aceite para diferencial | SAE 80W90 | TAMBORES |
| Aceite para motor gasolina | Special 40 | TAMBORES |
| Grasa Base de Litio | NLGI EP2 | TAMBORES |
| Grasa de Rodamiento Nº3 | Nº3 | TAMBORES |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

No se ha podido dar La aplicabilidad plena de las Normas vigentes de la Administradora Boliviana de Carreteras, dada las características topográficas de la zona, como lo dice en su acápite 1.1.1.1:

“Existen factores de distinta naturaleza que influyen en diversos grados el diseño de una carretera. No siempre es posible considerarlos explícitamente en una instrucción o recomendación de diseño en la justa proporción que les puede corresponder.

En consideración a lo anterior, en cada proyecto será necesario examinar la especial relevancia que pueda adquirir uno o varios factores, según se analizan en la Sección 1.2, para luego considerarlos adecuadamente al aplicar el “Sistema de Clasificación Funcional para Diseño” que se señala en el Párrafo 1.1.1.2 y cuyas particularidades respecto del diseño se tratan en la Sección 1.3. “

Ninguna Norma debe sustituir el buen criterio y el juicio explícito del diseñador.

- Se ha elegido el tipo de carretera de acuerdo a la funcionalidad de la carretera que deseamos, Primario (I-B), que son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos, que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.
- En función al tipo de carretera seleccionada y al tipo de topografía predominante (ondulada), correspondería elegir una velocidad de proyecto de 90 Km/h, pero por cuestión de económica, se ha optado por una velocidad de proyecto de 80 Km/h.
- En la norma para el diseño geométrico de carreteras del SNC 1993, el peralte está en función a la topografía, las condiciones climatológicas y la categoría de la carretera, y el coeficiente de fricción transversal está sólo en función de la velocidad de diseño, en la norma vigente de la Administradora Boliviana de Carreteras, tanto el peralte máximo como el coeficiente de fricción transversal están en función del tipo de carretera y de la velocidad de proyecto. (Pág. 28). Y como consecuencia, el radio mínimo también está relacionado de la misma manera.
- La norma del SNC no contempla sugerencias sobre longitudes mínimas de curvas horizontales, mientras que en la actual norma está contemplada de acuerdo a las tablas 5 y 6.
- La norma del SNC, no contempla longitudes mínimas de recta entre dos curvas consecutivas, mientras que la Norma de la administradora Boliviana de Carreteras estipula, pero las mismas en este proyecto no han podido ser aplicadas debido a las características de la topografía.
- En la norma del SNC, no contempla la relación de radios entre curvas circulares consecutivas, pero sí está contemplada en la norma de la ABC. Pero debido a las características del terreno (topografía bien ondulada) no se han podido dar cumplimiento con las mismas.
- En el diseño del pavimento del cálculo inicial, se tiene:

Del cálculo obtenido se tiene una carpeta de concreto asfáltico de 6 Plg. de espesor, consecuentemente el paquete estructural no requiere subbase. Se recomienda por razones económicas, y además en el propósito de que en un periodo de mantenimiento dado, pueda incrementarse el SN, asumiendo un espesor $D_1=2''$, un espesor D_2 de capa base de 20 cm. (7.874''), para un número estructural no menor a 3 (Pág.77), obtenemos el espesor de la capa sub base D_3 de la ecuación:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

$$3 = 0.42 \times 2 + 0.14 \times 7.874 \times 1 + 0.1375 \times D_3 \times 1$$

$$D_3 = 7.692$$

Se obtiene un espesor de 7.692'' (19.53768 cm.). Asumimos un espesor de 20 cm.