

CAPÍTULO I:

1.1. INTRODUCCIÓN

El proyecto a Diseño Final “Asfaltado Tramo Vial Ancón Chico – Pampa La Villa Chica”, tiene como objetivo principal establecer la mejor alternativa para su ejecución del proyecto; pero también determinar la factibilidad tanto a nivel económico y social del área de influencia.

De esta manera el estudio está referido al área de influencia directa e indirecta del tramo vial “Ancón Chico – Pampa La Villa Chica”, la misma que comprende la vía secundaria de entrada al Valle de Concepción, siendo alternativa a la principal ruta Tarija – Valle de Concepción (asfaltada).

La ejecución del proyecto dependerá de la factibilidad que determine el estudio, con lo que se solucionaría el problema actual de los comunarios; hecho latente en la priorización de la ruta asfaltada para mejorar el tránsito y la vinculación con el Valle de Concepción, La Ciudad de Tarija y el interior del país.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento económico y el desarrollo de actividades en la industria, el comercio y la agricultura están influenciados por el mejoramiento de la infraestructura vial ya que por medio de éstas se transportan bienes y mercaderías de un lugar a otro.

Las carreteras deben ser diseñadas de acuerdo a requisitos técnicos mínimos que recomiendan las normas, que permitan al usuario transitar por ellas de una manera segura, lo cual se logra con un buen trazo en los alineamientos horizontal y vertical así como de la sección transversal de manera que exista mayor comodidad al moverse sobre la vía. Sin embargo se debe tener en cuenta que si estos requisitos técnicos de diseño geométrico, con los que se cuentan no se encuentran adaptados a características propias; en lo relativo a la topografía, poblados, geología, uso de la

tierra, etc. y además dichos requisitos dejan muchos vacíos en el momento de completar los diseños geométricos; esto obliga a recurrir a manuales reconocidos internacionalmente, como es el caso de las especificaciones norteamericanas. Las cuales son el resultado de años de estudios, en la práctica experimental y que constituyen condiciones de diseño del más alto grado. Precisamente este es el aspecto fundamental que da pie a esta investigación, debido a que el manual con el que se cuenta, en el país deja muchos vacíos y no considera muchos aspectos, hace falta complementarle mucho porque de lo contrario los diseños no se pueden llevar a cabo de una manera integral. Por lo que pretendemos recopilar parte de esta información contenida en estos manuales más utilizados según la Administradora Boliviana de Carreteras A.B.C. (AASHTO, SEDECA, SENAC), y así de esta manera proponer las normas de diseño geométrico que más se adapten a nuestras condiciones fisiográficas, económicas y sociales.

La importancia del proyecto de mejoramiento vial, radica en la visión de ver la región en el mediano plazo con actividades económicas fortalecidas, con el respectivo efecto multiplicador en el departamento. Puesto que la zona de los valles tarijeños poseen de un potencial agrícola reconocido en vid y flores en principal.

De esta manera, siendo un proyecto vital para mejoramiento del nivel de bienestar de la zona y el potenciamiento de las actividades productivas, las posibilidades de desarrollo regional y departamental son significativas.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente estudio es realizar el diseño final de Ingeniería del tramo vial Ancón Chico – Pampa la Villa Chica, de acuerdo a normativas vigentes de tal manera que nos permita un diseño seguro y confortable para los usuarios que circulan por dicho tramo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar los estudios preliminares, como ser:

- Estudio topográfico con el detalle necesario para el diseño definitivo de las obras. En este sentido, se realizan los levantamientos siguiendo los actuales alineamientos de la carretera existente.
- El estudio hidrológico, para posteriormente proceder con el diseño hidráulico de las alcantarillas del tramo.
- El estudio geotécnico básico de las propiedades del suelo, deben efectuarse ensayos de campo y laboratorio que determinen su distribución y propiedades físicas (humedad natural, granulometría y límites de consistencia).
- El estudio de tráfico a varios tipos de vehículos con diferentes pesos y número de ejes. Los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil.

Y con los datos de los estudios preliminares se realizará la Ingeniería del Proyecto:

- En el diseño geométrico se tomará como base las recomendaciones del Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras, obteniéndose parámetros de diseño adecuados al análisis efectuado sobre las características topográficas, la velocidad, seguridad en la operación vehicular, etc.
- En el diseño de drenajes superficiales de una carretera es la de facilitar el paso de las aguas de un lado a otro de la vía y lograr la remoción de las aguas que caen sobre la plataforma. Por ejemplo una alcantarilla es un conducto que lleva agua a través de un terraplén, es un paso a nivel para el agua y el tráfico que pasa sobre ella.

1.4. ALCANCE

En el capítulo I se indicará la justificación, los objetivos generales y específicos, finalmente el alcance del presente estudio a diseño final.

En el capítulo II para poder llegar a realizar un estudio completo del tema planteado como es el “ESTUDIO A DISEÑO FINAL ASFALTADO TRAMO VIAL ANCÓN CHICO – PAMPA LA VILLA CHICA”, se realizarán los Estudios Preliminares comenzando con la ubicación y la descripción general del área de proyecto, luego un levantamiento topográfico para realizar los diferentes estudios de alternativas que corresponden a este tipo de diseño, se hará estudios hidrológicos que cobran gran importancia en el proyecto, como también los estudios de suelos que son muy necesarios para realizar el diseño de la calzada y finalmente el estudio de tráfico en el tramo antes mencionado.

En el capítulo III se verá la Ingeniería del Proyecto para el diseño de pavimentación. Con los datos obtenidos en los estudios preliminares se realizará el diseño geométrico, diseño estructural del pavimento, diseño de drenaje y el diseño de estructuras.

Continuando con el mismo capítulo se realizará los cálculos y el presupuesto referencial del proyecto en función de la envergadura del proyecto a desarrollar.

En el último capítulo IV presentado se mencionan las conclusiones del estudio realizado, el cual surge después de hacer un análisis en general del cumplimiento de las expectativas planteadas inicialmente y además dar a conocer observaciones presentadas durante el desarrollo del tema. Dentro de este capítulo encontramos también recomendaciones, que después de haber analizado el tema de estudio, se puede dar a conocer.

CAPÍTULO II:

ESTUDIOS PRELIMINARES

2.1. NOMBRE DEL PROYECTO

Estudio: “Diseño Final Asfaltado Tramo Vial Ancón Chico – Pampa la Villa Chica”.

2.2. UBICACIÓN DEL PROYECTO

2.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El área del proyecto se encuentra entre las comunidades de Ancón Chico y Pampa la Villa Chica, ubicado al noreste del Municipio de Uriondo Primera Sección de la Provincia Avilez del departamento de Tarija, geográficamente se encuentra en las coordenadas 21°40'49.78" de Latitud Sud y 64°39'27.67" Longitud Oeste.

Las comunidades de Ancón Chico y Pampa la Villa Chica que pertenecen al Municipio de Uriondo, colindan al este con el río Guadalquivir y la comunidad de San Isidro, al oeste con el Valle de Concepción, al sur con la comunidad de Pampa la Villa Grande y al norte con las comunidades de Ancón Grande, San Jacinto y Chorrillos.

Son comunidades pequeñas dado que hay algunas casas deshabitadas y otras por largas temporadas dejadas al cuidado de algunos comunarios.

Las distancias a los centros poblados próximos son:

CUADRO N° 2.1: ACCESOS A LA CIUDAD DE TARIJA

DE COMUNIDAD	A: ANCON CHICO (km.)	TIEMPO RECORRIDO (Hrs.)
Concepción (El Valle)	15	0.25
Tarija	30	0.5

2.2.2. UBICACIÓN POLÍTICA ADMINISTRATIVA

1. Departamento: Tarija
2. Provincia: Avilez
3. Municipio: Primera Sección Municipio Uriondo
4. Comunidades Beneficiadas: Ancón Chico y Pampa la Villa Chica

GRÁFICO N° 2.1: UBICACIÓN EN LA ZONA DE PROYECTO

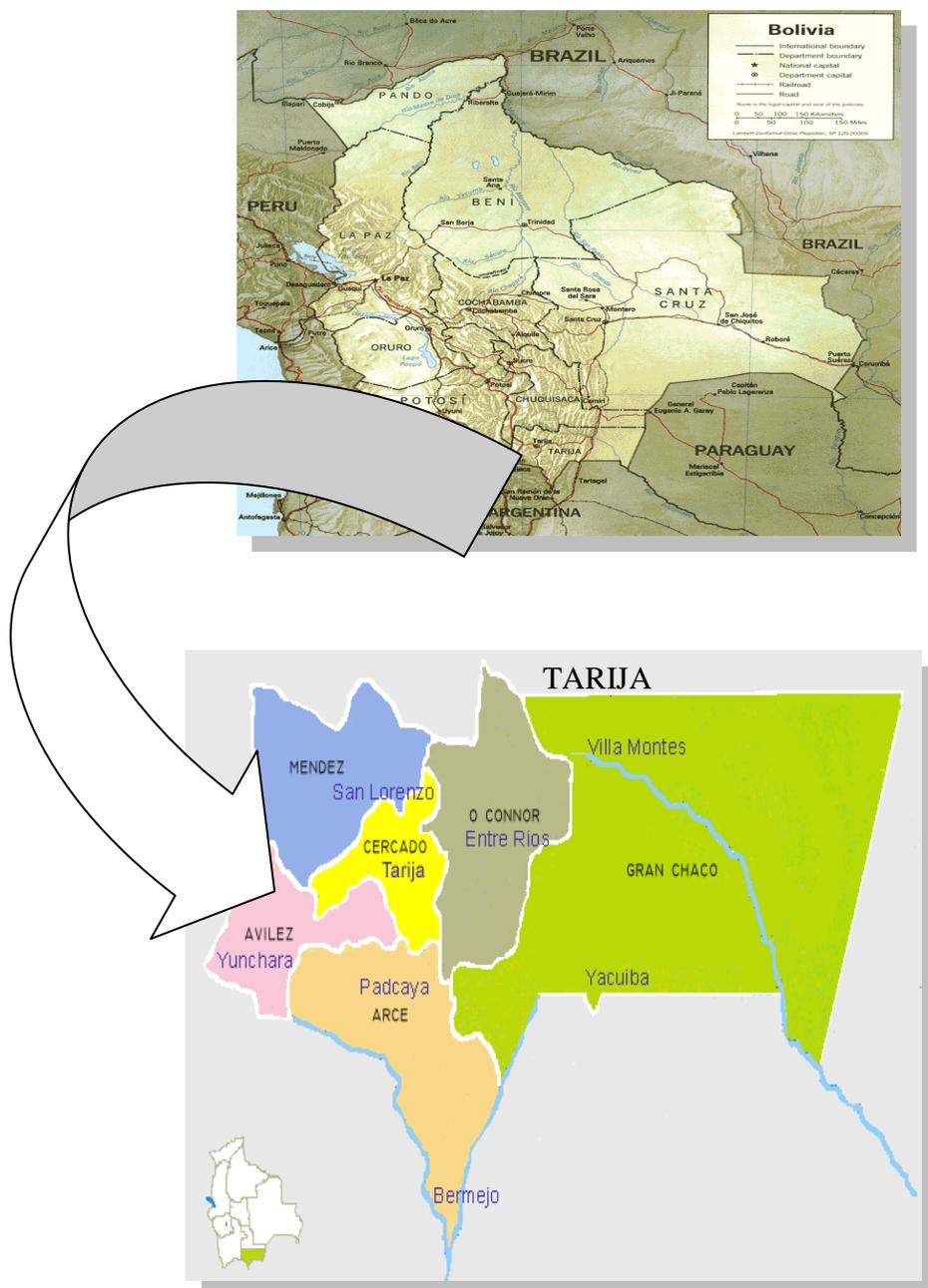
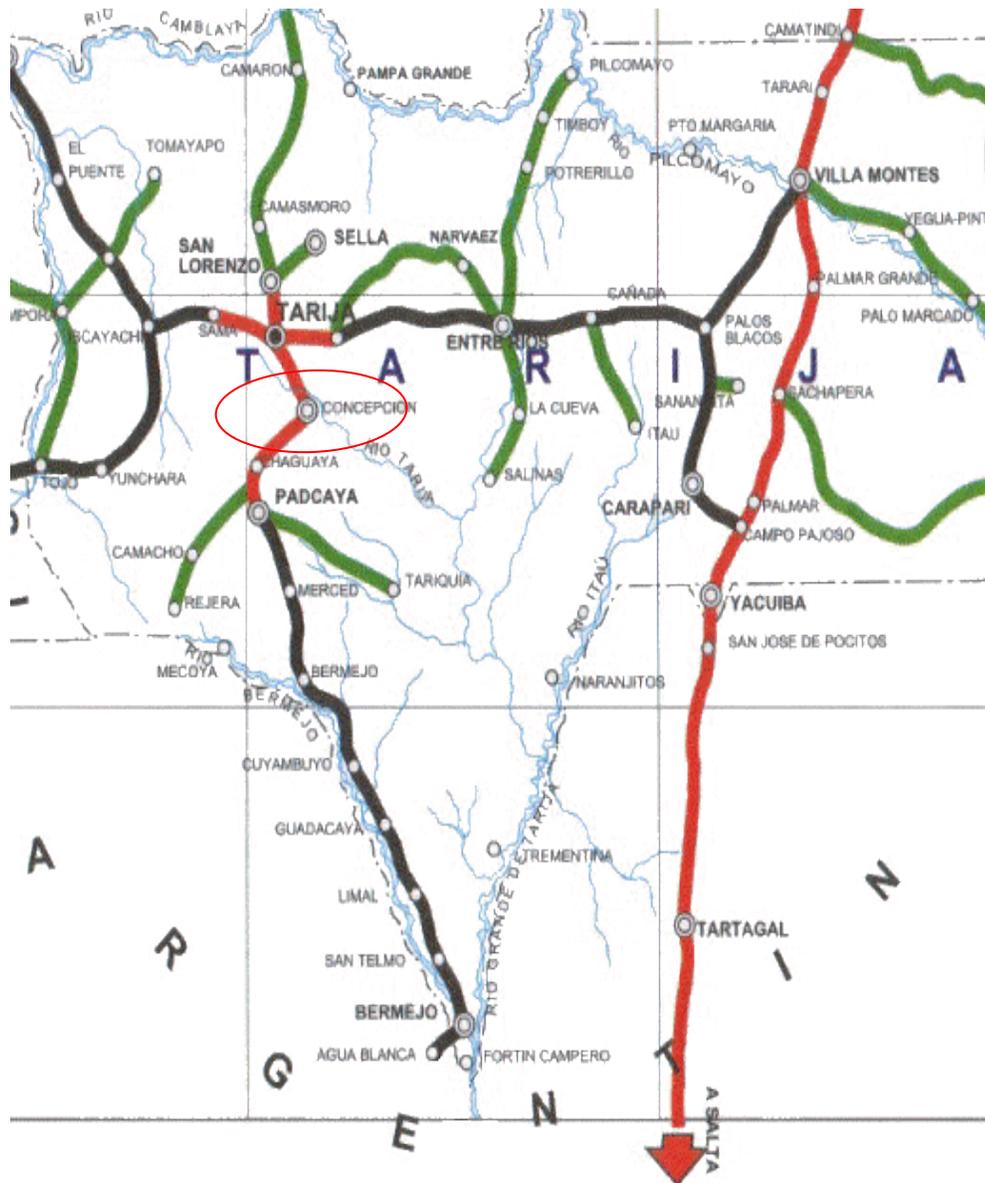


GRÁFICO N° 2.2: CROQUIS DE UBICACIÓN EN LA ZONA DE PROYECTO



2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE PROYECTO

El proyecto está desarrollado sobre una topografía que varía con pendientes de 1 % a 3 % y se encuentra en cercanías del río Guadalquivir.

La zona de los valles de la cuenca del Guadalquivir es reconocida por su potencial agrícola, principalmente vitivinícola y no menos importante la producción hortícola y frutícola; En cuanto a la ganadería la cría se refiere más al ganado bovino, ovino, caprino y porcino. Estos aspectos tienen buena ventaja por las potencialidades climáticas, vegetación y de tierra valluna que ofrecen excelentes rendimientos en la producción.



2.4. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Los levantamientos topográficos ejecutados para el Diseño Final, han sido realizados con el detalle necesario para el diseño definitivo de las obras. En este sentido, se realizan los levantamientos en detalle siguiendo los actuales alineamientos de la carretera existente.

2.4.1. EL TRAZADO

Las carreteras y caminos son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Elevación y Sección Transversal.

El elemento básico para tal definición es el eje de la vía, cuyas proyecciones en planta y elevación definen la planta y el alineamiento vertical respectivamente.

Estos ejes en planta y elevación, deben cumplir con una serie de normas y recomendaciones. Estas pretenden conciliar la conveniencia económica de adaptarlos lo más posibles al terreno, con las exigencias técnicas requeridas para posibilitar desplazamientos seguros de un conjunto de vehículos a una cierta velocidad, definida genéricamente como Velocidad de Proyecto.

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y elevación y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas según una Instrucción de Diseño, constituye el trazado del eje y, por extensión, de la carretera.

2.4.2. VARIABLES FUNDAMENTALES

En el Capítulo 1 se describieron los factores que determinan las características de una vía. Se puede considerar que el diseño geométrico propiamente tal se inicia cuando se define, a partir de las consideraciones y antecedentes del caso, una Categoría y una Velocidad de Proyecto para ella. No obstante ello, éste es sólo el primer paso del

proceso, pues en la medida que el trazado se desarrolle por terrenos que no imponen restricciones perceptibles por el usuario y los elementos del trazado sean consecuentes con ello, un porcentaje significativo de los usuarios tenderá a circular a velocidades que pueden superar las de proyecto.

Será entonces la velocidad de desplazamiento previsible que adopten los usuarios en los distintos tramos de la ruta, durante períodos de baja demanda y los riesgos que puedan enfrentar, los que ponderados mediante criterios estadísticos, condicionen la elección de los parámetros máximos, mínimos y deseables que fije la Instrucción para el diseño de Carreteras y Caminos. En cualquier caso, a todo lo largo de la ruta se garantiza un desplazamiento seguro y confortable para aquellos que circulan a la Velocidad de Proyecto y en algunos tramos para velocidades superiores a esta, en previsión de las velocidades que adopte un porcentaje significativo de los usuarios

Existe en consecuencia una interdependencia entre la geometría de la carretera y el movimiento de los vehículos en ella (dinámica del desplazamiento), y entre esta geometría y la visibilidad y capacidad de reacción que el conductor tiene al operar su vehículo. Dicho de otra manera, no basta que el movimiento de los vehículos sea dinámicamente posible en condiciones de estabilidad, sino que además debe asegurarse, para todo punto de la vía, que el usuario tenga suficiente tiempo para adecuar su conducción a la geometría de ésta y a las eventualidades que puedan presentarse.

2.4.3. CRITERIOS BÁSICOS

La presente versión del Capítulo 3 introduce criterios de diseño, que deberán emplearse en el diseño de Carreteras y Caminos en nuevos trazados y en las variantes a las obras existentes. Su aplicación en la rectificación de trazados existentes en que se mantiene el emplazamiento general de la ruta, no siempre será posible de manera integral, en razón de los costos que ello significaría, pudiendo la Administradora Boliviana de Carreteras autorizar algunas relajaciones según se establece en la

Sección 3.6. Los criterios a aplicar en los distintos casos se establecen mediante límites normativos y recomendaciones que el proyectista deberá respetar y en lo posible, dentro de límites económicos razonables, superar, para lograr un trazado que satisfaga las necesidades del tránsito y brinde la seguridad y calidad de servicio, que se pretende obtener de la carretera o camino, según sea la categoría asignada.

El buen diseño no resulta de una aplicación mecánica de los límites normativos, que en general representan valores mínimos. Por el contrario, el diseño requiere buen juicio y flexibilidad por parte del proyectista, para abordar con éxito la combinación de los elementos en planta y elevación, sin transgredir los límites normativos.

El trazado debe ser homogéneo, es decir, sectores de éste que inducen velocidades superiores a las de proyecto, no deben ser seguidos de otros en los que las características geométricas se reducen bruscamente a los mínimos correspondientes a dicha V_p . Las transiciones de una a otra situación, si ellas existen, deberán darse en longitudes suficientes como para ir reduciendo las características del trazado a lo largo de varios elementos, hasta llegar a los mínimos absolutos requeridos en un sector dado.

Eventualmente, una ruta puede requerir se definan tramos con distintas V_p , cuando la topografía o el uso de la tierra cambia significativamente y dicha situación se mantiene por más de 3 ó 4 km, casos en que se diseñarán cuidadosamente las transiciones y la señalización correspondiente.

En general, las Tablas normativas que resumen los valores mínimos absolutos para los diversos elementos se darán para el rango de Velocidades de Proyecto comprendido entre 30 y 120 km/h, variando cada 10 km/h. En algunas de las Tablas detalladas que figuran en el texto, se incluyen valores variando cada 5 km/h y hasta 130 km/h, que se requieren en relación con las Velocidades Percentil 85 ($V_{85\%}$) y Velocidad Específica (V_e). En Caminos de Desarrollo con Velocidades de Proyecto menores o iguales que 40 km/h, sólo se indicarán valores normativos

correspondientes a las variables principales, dando mayor libertad en el empleo de los valores asociados a las restricciones complementarias que dicen relación con la comodidad y percepción estética de la ruta.

2.5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

2.5.1. INTRODUCCIÓN

El estudio de Hidrología y drenaje, se inició con la recopilación de datos necesarios para el análisis, visitas a campo y estudio de las obras de arte existentes. Se pudo obtener información de estaciones pluviométricas del SENNAMHI, muy cercanas al área de influencia del proyecto, utilizando los datos de precipitaciones máximas diarias horarias para utilizar el método racional para la obtención de los caudales máximos.

Con los datos de precipitación obtenidos se realiza el análisis pluviométrico: ajuste de los datos a funciones de distribución teóricas, pruebas de bondad y ajuste y finalmente la obtención de las precipitaciones de diseño para períodos de retorno de dados.

2.5.2. ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

Los principales objetivos del análisis pluviométrico son:

- Determinar las características y las distribuciones de probabilidades de las lluvias máximas diarias sobre las áreas de aporte.
- Determinar las curvas de probabilidad pluviométrica que corresponden a las lluvias máximas anuales con duración menor de 24 horas, indicadas como de fuerte intensidad y breve duración (1, 3, 6, 12 y 24 horas).

Para realizar el análisis estadístico se han tomado en cuenta los datos históricos de 6 estaciones pluviométricas ubicadas en la región.

En el análisis hidrológico, cada magnitud se considera como una variable aleatoria. Así, se determinaron las funciones de distribución de probabilidades de mejor ajuste y se obtuvieron sus principales parámetros característicos (procedimientos de análisis de muestreo estadístico).

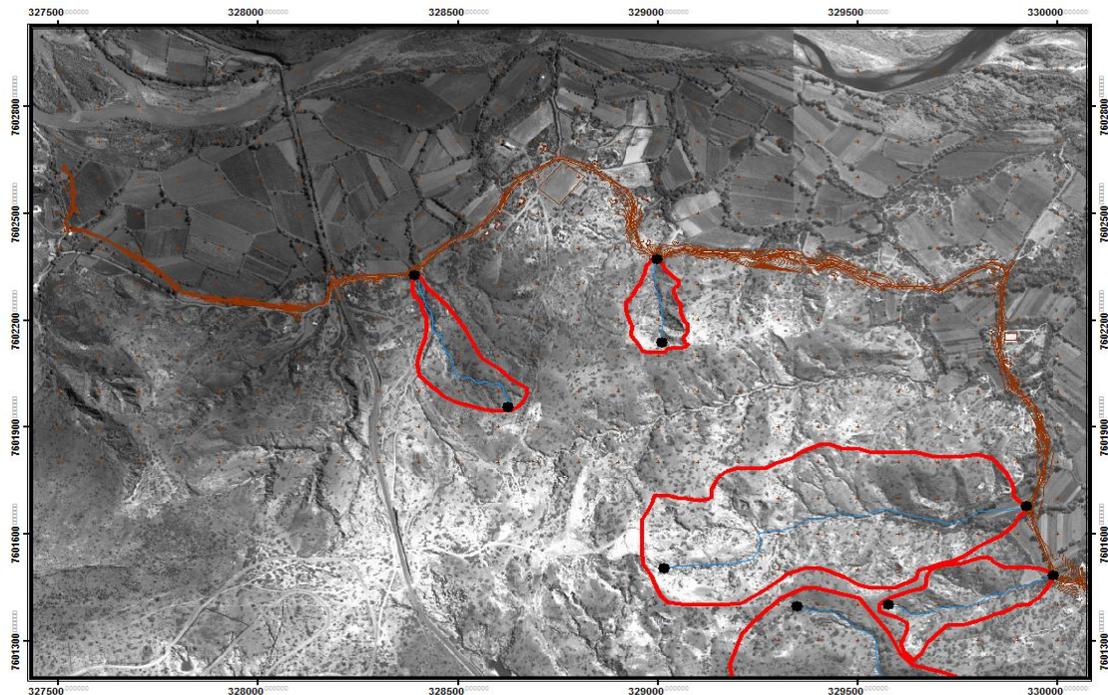
Debido a que el número de datos de las series históricas consideradas es reducido, solamente se pudo obtener una estimación de los parámetros de la distribución. Se ha mejorado la confianza estadística utilizando un criterio de análisis regional, es decir, considerando en su conjunto toda la información estadística de los datos registrados para cada magnitud que interesa, en todas las estaciones de medidas consideradas. A esto se sumó también información complementaria de estudios similares en regiones con similitud climática e hidrológica.

También, de acuerdo con la posición geográfica de cada estación de medidas, analizando los valores que asumen los parámetros de las funciones de distribución de probabilidades para cada variable hidrológica, con el procedimiento de regionalización se logra definir la función de distribución de probabilidades de cada variable, aún en puntos en los cuales no se cuenta con información directa.

2.5.2.1. Precipitación máxima diaria anual

a) Información disponible

Tal como ocurre en casi todo el departamento de Tarija, en la zona del proyecto no se dispone de mediciones de lluvias y sus correspondientes duraciones mediante pluviógrafo. Por esta razón, para el análisis de lluvias máximas, se recurren las precipitaciones máximas diarias (mediciones hechas cada 24 horas). A continuación se muestran los datos de las estaciones más cercanas a la zona de estudio se tomaron estas estaciones para construir las isoclinas máximas de precipitación que caracterizan a cada cuenca.



b) Metodología

Para el análisis y cálculo de las lluvias máximas diarias, para diferentes periodos de retorno, se sigue la siguiente metodología:

- Selección del modelo de distribución de probabilidades que mejor se ajusta a la serie de datos. Inicialmente, el modelo de distribución de probabilidades se selecciona comparando la curva teórica del modelo con el histograma empírico construido usando la serie de datos.
- Para el modelo de distribución de probabilidades seleccionado inicialmente en el paso anterior, se realizan las pruebas de bondad de ajuste. En este caso, se usan las pruebas Chi-cuadrado y la de Smirnov Kolmogorov.
- Con el modelo seleccionado, se estiman las precipitaciones máximas diarias (24 horas) para diferentes probabilidades de ocurrencia (excedencia) o periodos de retorno.

Estas elaboraciones son realizadas usando el software estadístico Statgraphics PLUS 5.1, el cual dispone de los siguientes modelos continuos de distribución de probabilidades:

- Uniforme.
- Normal.
- Log normal.
- Exponencial.
- Gamma.
- Beta.
- Weibull.
- Distribución de valores extremos (incluye Gumbel).

Cuadro N° 2.2:
Series históricas de lluvias máximas diarias (mm)

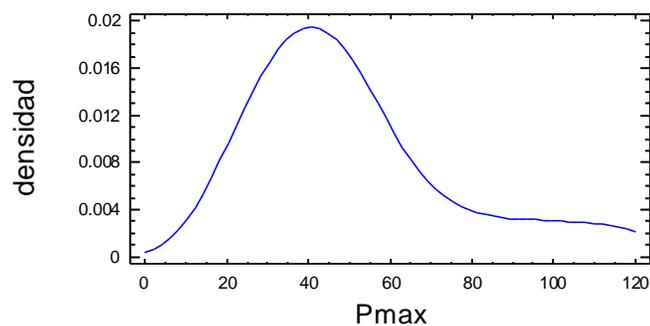
AÑO	CENAVIT
1997	
1998	43.6
1999	37.4
2000	51.5
2001	40.8
2002	45
2003	41.5
2004	56.5
2005	33.8
2006	92
2007	71.2
2008	28
2009	33.5
2010	116.5
2011	33.5
EXTR.	116.5

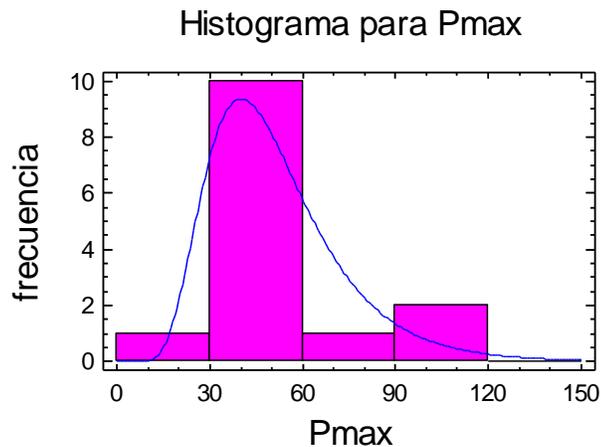
Fuente: SENAMHI

Luego de probados todos los modelos mencionados precedentemente, al comparar el histograma empírico con el gráfico del modelo teórico, el modelo que mejor se ha comportado es el Log normal. Para este modelo, en la figura se presenta el gráfico correspondiente.

Ley Log normal estación CENAVIT

Trazas de Densidad para Pmax





Tests de Bondad de Ajuste para Pmax (CENAVIT)

Contraste Chi-cuadrado

	Límite Inferior	Límite Superior	Frecuencia Observada	Frecuencia Esperada	Chi-cuadrado
	menor o igual	33.5878	3	2.80	0.01
	33.5878	42.7608	4	2.80	0.51
	42.7608	52.6463	3	2.80	0.01
	52.6463	67.0241	1	2.80	1.16
mayor	67.0241		3	2.80	0.01

Chi-cuadrado = 1.71428 con 2 g.l. P-Valor = 0.424373

Estadístico DMAS de Kolmogorov = 0.194179

Estadístico DMENOS de Kolmogorov = 0.126789

Estadístico DN global de Kolmogorov = 0.194179

P-Valor aproximado = 0.666702

Estadístico EDF	Valor	Forma Modificada	P-Valor
Kolmogorov-Smirnov D	0.194179	0.75556	>=0.10
Anderson-Darling A^2	0.544034	0.544034	>=0.10

*Indica que el p-valor se ha comparado con las tablas de valores críticos

especialmente construido para el ajuste de la distribución actualmente seleccionada.

Otros p-valores están basados en tablas generales y pueden ser muy conservadores.

El StatAdvisor

Esta ventana muestra los resultados de los tests ejecutados para determinar si Pmax puede ser modelado adecuadamente por distribución log normal. El test chi-cuadrado divide el rango de Pmax en intervalos no solapados y compara el número de observaciones en cada clase con el número esperado basado en la distribución ajustada. El tests de Kolmogorov-Smirnov calcula la distancia máxima entre la distribución acumulada de Pmax y el CDF de la distribución log normal ajustada. En este caso, la distancia máxima es 0.194179. Los otros estadísticos EDF comparan de diferentes maneras la función de distribución empírica con el CDF ajustado.

Dado que p-valor más pequeño de los tests realizados es superior o igual a 0.10, no podemos rechazar que Pmax proceda de una distribución log normal con un nivel de confianza de al menos un 90%.

c) Lluvias máximas diarias para diferentes periodos de retorno

Con el modelo de distribución de probabilidades seleccionado, se han estimado las precipitaciones máximas diarias (24 horas) para diferentes periodos de retorno T (años). El cuadro 2.3 que sigue, muestra los valores obtenidos.

Cuadro N° 2.3:
Lluvias máximas diarias para diferentes T

T años	PRECIPITACION PARA TIEMPOS INFERIOES A 24Hrs											
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
2	28.502	32.740	35.506	37.609	39.325	40.786	42.063	43.201	44.231	45.173	46.042	46.851
5	28.502	32.740	35.506	37.609	39.325	40.786	42.063	43.201	44.231	45.173	46.042	46.851
10	45.008	51.700	56.068	59.388	62.099	64.405	66.421	68.219	69.845	71.333	72.705	73.982
20	52.116	59.866	64.923	68.768	71.906	74.577	76.912	78.994	80.877	82.599	84.188	85.666
25	54.405	62.495	67.774	71.788	75.064	77.852	80.289	82.462	84.428	86.226	87.885	89.428
50	61.513	70.660	76.629	81.167	84.872	88.024	90.780	93.237	95.459	97.492	99.368	101.113
100	68.622	78.826	85.484	90.547	94.680	98.196	101.270	104.011	106.491	108.758	110.851	112.797
200	75.730	86.991	94.340	99.927	104.488	108.368	111.761	114.786	117.522	120.025	122.335	124.482
500	85.128	97.786	106.046	112.326	117.453	121.815	125.629	129.029	132.105	134.918	137.514	139.928

d) lluvias de alta intensidad y corta duración

El conocimiento de las lluvias máximas para duraciones menores a 24 horas y sus correspondientes intensidades es fundamental para la estimación de caudales máximos a partir de datos de precipitaciones pluviales.

Estas intensidades máximas, para un periodo de retorno determinado, pueden calcularse por procedimientos estadísticos cuando se disponen de registros de las lluvias y sus duraciones (registros pluviográficos).

Si no existen registros de pluviógrafos, se pueden calcular dichas intensidades, con suficiente aproximación, partiendo de las precipitaciones máximas diarias (24 horas), del punto anterior.

Es decir, el procedimiento consiste en usar alguna relación que transforme las precipitaciones máximas diarias en precipitaciones de duraciones menores y sus correspondientes intensidades, para diferentes periodos de retorno o probabilidades de excedencia.

Una ecuación muy utilizada y con resultados satisfactorios es la siguiente:

$$i = \begin{cases} \frac{a}{D+b} & \text{for } D \leq 2h \\ cD^d & \text{for } D > 2h \end{cases}$$

Donde:

- i = intensidad de precipitación de t horas de duración;
- D = duración de la precipitación en horas;
- A, c, b = parámetros de ajuste de regresión de múltiple de cada estación.

Esta ecuación es válida para valores de t comprendidos entre 0.5 y 24 horas.

Al aplicar la ecuación precedente al caso, considerando los valores del cuadro anterior, se obtienen los valores que se presentan en el cuadro 2.4.

Cuadro N° 2.4:
Intensidades en mm/hora
Diferentes duraciones t (horas) y periodos de retorno T
Duraciones ≥ 2 horas

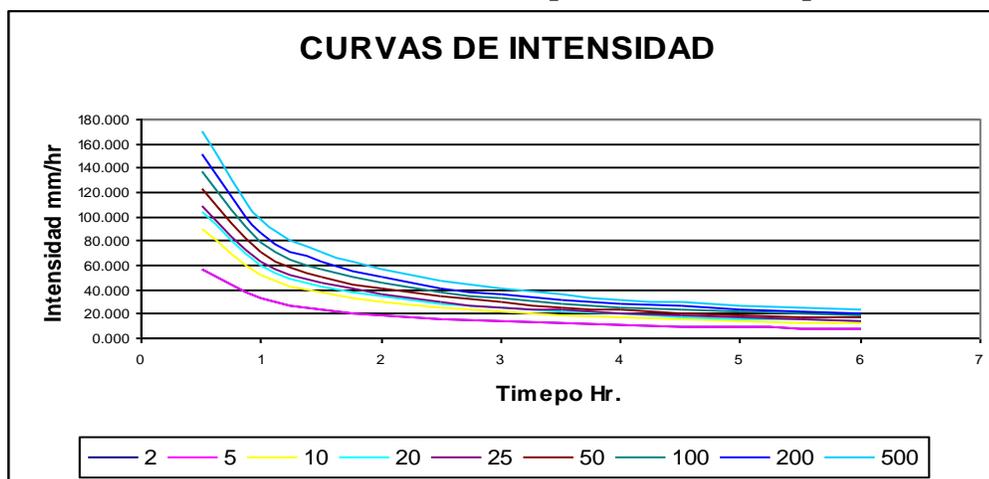
T años	0.5	1	1.5	2
2	57.004	32.740	23.671	18.804
5	57.004	32.740	23.671	18.804
10	90.016	51.700	37.378	29.694
20	104.233	59.866	43.282	34.384
25	108.810	62.495	45.182	35.894
50	123.027	70.660	51.086	40.584
100	137.244	78.826	56.990	45.274
200	151.461	86.991	62.893	49.963
500	170.255	97.786	70.697	56.163

Para duraciones $2' \leq t \leq 24$ horas, se tiene el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.5:
Intensidades en mm/hora
Diferentes duraciones t (min.) y periodos de retorno T
Duraciones $< 2'$

T años	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
2	15.730	13.595	12.018	10.800	9.829	9.035	8.371	7.808
5	15.730	13.595	12.018	10.800	9.829	9.035	8.371	7.808
10	24.839	21.468	18.978	17.055	15.521	14.267	13.219	12.330
20	28.763	24.859	21.975	19.748	17.973	16.520	15.307	14.278
25	30.026	25.951	22.940	20.616	18.762	17.245	15.979	14.905
50	33.949	29.341	25.937	23.309	21.213	19.498	18.067	16.852
100	37.872	32.732	28.934	26.003	23.665	21.752	20.155	18.800
200	41.795	36.123	31.932	28.696	26.116	24.005	22.243	20.747
500	46.981	40.605	35.894	32.257	29.357	26.984	25.003	23.321

Gráfico Curvas de intensidad para las áreas de aporte



Si los valores de los dos cuadros precedentes se usan para desarrollar modelos de regresión múltiple, se obtienen, usando el método de los cuadrados mínimos, mediante un análisis multivariado, las siguientes ecuaciones para el periodo de retorno seleccionado :

Para duraciones comprendidas entre 0.5 y 2 horas:

T años	I=a/(D+b)		
	a	b	R ²
2	42.154	0.262	1.00
5	42.154	0.262	1.00
10	66.566	0.262	1.00
20	77.079	0.262	1.00
25	80.464	0.262	1.00
50	90.977	0.262	1.00
100	101.490	0.262	1.00
200	112.004	0.262	1.00
500	125.902	0.262	1.00

Para duraciones comprendidas entre intervalos mayores de 2 a 24 hrs. tenemos.

T años	I=c*D ^b		
	b	c	R ²
2	-0.800	32.740	1.00
5	-0.800	32.740	1.00
10	-0.800	51.700	1.00
20	-0.800	59.866	1.00
25	-0.800	62.495	1.00
50	-0.800	70.660	1.00
100	-0.800	78.826	1.00
200	-0.800	86.991	1.00
500	-0.800	97.786	1.00

2.5.2.2. Tiempo de concentración

Hidrológicamente está demostrado que el caudal máximo en una corriente de agua para una sección particular de interés, se produce para una lluvia o tormenta cuya duración es igual al tiempo de concentración.

El tiempo de concentración queda definido como el tiempo que tardaría una gota de agua en llegar a la sección de interés, desde el punto más alejado de la cuenca.

Para la estimación del tiempo de concentración se han propuesto varias ecuaciones, correspondientes a diferentes autores.

Para cuencas naturales pequeñas, Kirpich (1940) ha propuesto la siguiente ecuación para el cálculo del tiempo de concentración:

$$t_c = 0.00025 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.8}$$

Donde:

- t_c = tiempo de concentración en horas;
- L = longitud del curso principal en m;
- S = pendiente media en m/m.

Otra ecuación (Kraemer y otros, 1999), es la de Téllez:

$$t_c = 0.3 \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.75}$$

Siendo:

- t_c = tiempo de concentración en horas;
- L = longitud del curso principal de agua de la cuenca en km;
- J = pendiente media del curso principal en m/m.

La aplicación de estas ecuaciones a la subcuenca del río Alizos, conduce a la obtención de los resultados que se presentan en el cuadro 2.6.

**Cuadro N° 2.6:
Tiempo de concentración en horas**

AREA DE APORTE	KIRPICH	TELLEZ	PROMEDIO
AP-1	0.05	0.17	0.11
AP-2	0.15	0.34	0.25
AP-3	0.30	0.62	0.46
AP-4	0.21	0.43	0.32
AP-5	0.38	0.71	0.54

Se adopta, para la cuenca, valores promedios calculados con las dos ecuaciones precedentes. Luego, los tiempos de concentración para las áreas de aporte, son respectivamente:

$$t_c = 0.11 \text{ horas}$$

$$t_c = 0.25 \text{ horas}$$

$$t_c = 0.46 \text{ horas}$$

$$t_c = 0.32 \text{ horas}$$

$$t_c = 0.54 \text{ horas}$$

2.5.2.3. Caudales Máximos para diferentes periodos de retorno

Los caudales máximos, que eventualmente servirán para dimensionar altura de estribos de puentes, alturas máximas de crecida y si el caso lo requiere para dimensionar pilas de soporte, se estiman usando el método racional que responde a la ecuación:

$$Q = \frac{CIA}{3.6}$$

Donde:

- Q = caudal máximo para un determinado periodo de retorno, en m³/s;
- C = coeficiente de escurrimiento;
- I = intensidad media de lluvia máxima para un tiempo igual al tiempo de concentración, en mm/hora;
- A = área de la cuenca en proyección horizontal, en km².

Las intensidades medias de lluvias máximas son calculadas, para una duración igual al tiempo de concentración.

Con relación al coeficiente de escurrimiento C, que depende, entre otros factores, de la pendiente de la cuenca y del río, del tipo de suelo, de la geología, de la vegetación, del grado de saturación del suelo, etc., se destaca lo siguiente:

- En la naturaleza, el agua se presenta formando un ciclo hidrológico, en el que ésta se evapora, condensa, precipita, escurre, infiltra, etc. Nos interesa, desde el punto de vista de los caudales máximos, la relación entre la cantidad de agua que escurre y la que llueve (coeficiente de escurrimiento).
- Las crecidas más grandes de las corrientes de agua de las cuencas se producen cuando el suelo está saturado, es decir, cuando la capacidad de infiltración del mismo es prácticamente nula.
- Al analizar las curvas de nivel de las subcuencas propiamente dichas, se evidencian también pendientes fuertes.

Por todas las consideraciones hechas en los párrafos que preceden, es prudente esperar que el coeficiente de escurrimiento adopte un valor relativamente alto, el cual, luego de complementar los argumentos anteriores con una visita de campo y la consulta a la literatura especializada, se adopta:

$$C = 0.48$$

Con este factor y los otros que forman parte de la ecuación que responde al método racional, los caudales máximos para diferentes periodos de retorno toman los valores que se presentan en los cuadros siguientes:

Cuadro N° 2.7:
Caudales máximos para diferentes periodos de retorno
Áreas de Aporte T= 25 años

AREA DE APORTE	Q m3/s
AP-1	0.82
AP-2	1.26
AP-3	4.57
AP-4	0.91
AP-5	3.92

2.5.3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

Considerando que en el interior de las áreas de drenaje no están instaladas estaciones de mediciones, los estudios de Climatología e Hidrología que siguen se han realizado recurriendo a criterios de análisis hidrológico regional.

Para ello, se han considerado y analizado las series históricas registradas en las estaciones de medidas ubicadas en una amplia zona alrededor del área del Proyecto (ver el cuadro que sigue). Se dispone de las series históricas de precipitación mensual y anual registrada en 1 estación pluviométrica, cuyas coordenadas geográficas y periodo de registro se presentan a continuación.

**Cuadro N° 2.8:
Estaciones Climatológicas y Pluviométricas**

ESTACION	COORDENADAS UTM		TIPO DE ESTACION	PERIODO DE REGISTRO
	E	N		
CENAVIT	328469.4183	7600352.3	PLUVIO-CLIMATOLOGICA	1958-2002

Fuente: SENAMHI

2.6. ESTUDIO GEOTÉCNICO

Al evaluar un pavimento existente la exploración del suelo y los ensayos de laboratorio realizados a los distintos materiales utilizados en las capas del pavimento juegan un papel muy importante, debido a que éstos proporcionan información de gran valor a la hora de tomar decisiones con respecto al estado en que se encuentran los materiales de la estructura de pavimento.

Para la obtención de la información geotécnica básica de las propiedades del suelo, deben efectuarse ensayos de campo y laboratorio que determinen su distribución y propiedades físicas. Una investigación de suelos debe comprender:

Determinación del perfil del suelo: La cual consiste en ejecutar perforaciones en el terreno, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos del

suelo, la forma como estos están dispuestos en capas y la determinación de aguas freáticas. Lógicamente, la ubicación, profundidad y número de perforaciones deben ser tales que permitan determinar toda variación importante de la calidad de los suelos.

- Toma de muestras de las diferentes capas de suelos: En cada perforación deberá tomarse muestras representativas de las diferentes capas encontradas. Las muestras pueden ser de dos tipos: Alteradas e inalteradas.

En vías se recomienda hacer sondeos con espaciamientos entre 350 y 600 m, teniendo en cuenta las semejanzas del material a partir de uno de los cortes presentes.

En general, las muestras obtenidas sirven para determinar las propiedades y clasificación del material extraído valiéndose de los siguientes ensayos:

- Humedad natural
- Granulometría
- Límites de consistencia.

2.6.1. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

2.6.1.1. Tamaño de las partículas de suelos

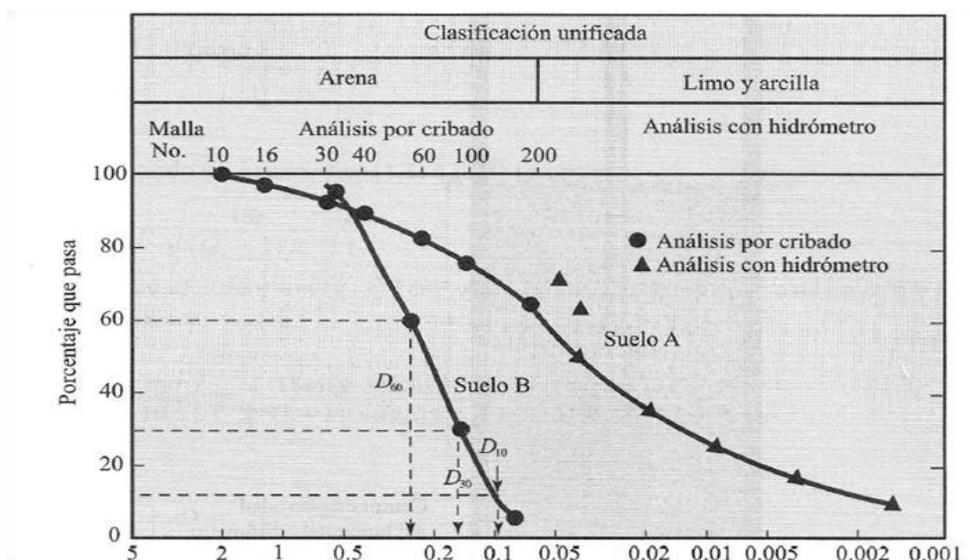
Los tamaños de las partículas que conforman un suelo, varían en un amplio rango. Los suelos, en general, son llamados grava, arena, limo o arcillas, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. La tabla 1 muestra los límites de tamaño de suelo separado desarrollados por el Instituto tecnológico de Massachusetts y la Asociación de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO).

Tabla 1. Límites de tamaño de suelos separados

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (limos y arcillas) <0.075	

2.6.1.2. Curva de distribución granulométrica

Los resultados del análisis mecánico se presentan generalmente en graficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica. Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética.

Figura 1. Curvas de distribución del tamaño de partículas (curvas granulométricas)

2.6.1.3. Consistencia del suelo

Albert Mauritz Atterberg desarrollo un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables a muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólidos, semisólido, plásticos y líquido.

Limite líquido (LL): Se define como el contenido de agua de un suelo fino, para el cual su resistencia al corte es aproximadamente de 25 g/cm^2

Limite plástico (PL): Se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. Es el límite inferior de la etapa plástica del suelo.

$$PI = LL - PL$$

Límite de contracción (SL): La masa de suelo se contrae conforme se pierde gradualmente el agua del suelo. Con una pérdida continua de agua, se alcanza una etapa de equilibrio en la que más pérdida de agua conducirá a que no haya cambio de volumen.

$$SL = w_i (\%) - \Delta w (\%)$$

2.6.1.4. Clasificación del suelo

Los suelos con propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada. Actualmente, dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los

suelos son usados comúnmente por los ingenieros de suelos. Estos son el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos. Los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el sistema unificado.

✦ Sistema unificado de clasificación de suelos

La forma original de este sistema fue propuesto por Casagrande en 1942 para usar en la construcción de aeropuertos emprendida por el cuerpo de ingenieros del ejército durante la segunda guerra mundial. El sistema unificado de clasificación se presenta en las siguientes tablas; clasifica los suelos en dos amplias categorías:

1. Suelos de grano grueso, tipo grava o arenosos con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S.G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.
2. Suelos de grano fino, con el 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupos comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (limite liquido menor que 50)
- H: alta plasticidad (limite liquido mayor que 50)

Tabla 2. Sistema unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Tabla 3. Sistema unificado de Clasificación, símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos

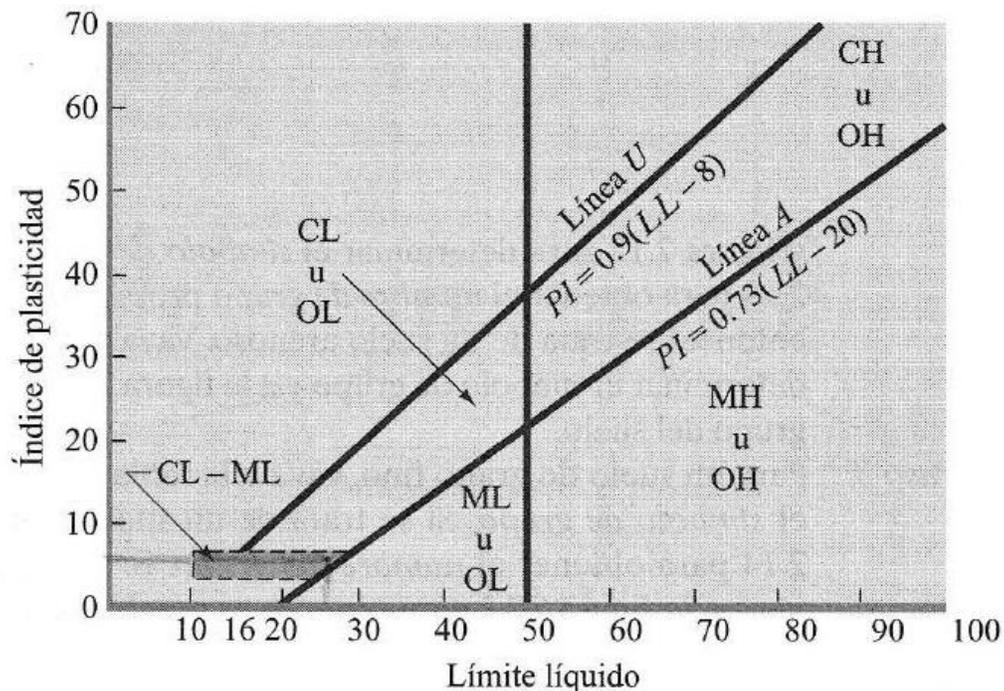
Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Para la clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

1. Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenido en la malla No. 4 (abertura de 4.75mm)
2. Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla No. 4 (abertura de 4.75mm) y es retenido en la malla, No. 200 (abertura de 0.075mm)
3. Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla No. 200 (abertura de 0.075 mm)
4. Coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_z)
5. Limite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla No. 40.

Los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM, y GP-GC. Similarmente, los símbolos de grupos para suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt.

Figura 2. Carta de plasticidad



2.7. ESTUDIO DE TRÁFICO

2.7.1. TRÁNSITO

Los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. Existen varios tipos de vehículos con diferentes pesos, y número de ejes. Para el cálculo se transforman los vehículos a una carga equivalente de un eje de 18 kip, (80 kN) Al número de cargas equivalentes del tráfico se llama ESAL (Equivalent Axle Load).

El programa DARWin calcula el número de ESALs de diseño, para ello se deben conocer los siguientes parámetros:

- Tiempo de Diseño: Vida Útil
- Tráfico Promedio Diario en dos direcciones (ADT)
- Número de Carriles en cada Dirección
- Porcentaje de todos los Camiones en el carril de diseño
- Porcentaje de Camiones en la Dirección de Diseño

El programa ofrece dos opciones, el simplificado en el que se utiliza un vehículo promedio y el riguroso en donde se analiza cada tipo de vehículo por separado, para propósitos de este diseño se utilizará el procedimiento riguroso que es el más exacto. Para ello se necesitan los siguientes datos para cada tipo de vehículo:

- Porcentaje del ADT
- Tasa de crecimiento
- Factor Camión Promedio Inicial (TF)

2.7.1.1. Composición del tráfico

Del Estudio de Tráfico del proyecto, realizado en el año 2012, se obtiene la información de tráfico necesaria para el diseño del pavimento.

En la Tabla 2.1 se tiene la composición del tráfico para el año base, desglosado en los tipos de vehículos. El índice de crecimiento vehicular del lugar es de 2.05. La Tabla 2.2 es la composición del tráfico expresado en porcentaje.

Tabla 2.1**Composición del tráfico estimado para el año base 2013**

Tramo	ADT	L	M	P
Entrada del Camino-Ancon Chico	214	144	41	29
Intersección-Pampa la Villa Chica	178	113	37	28

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 2.2**Distribución Porcentual del Tráfico del año base 2013**

Tramo	Total	L	M	P
Entrada del Camino-Ancon Chico	100%	67.3%	19.2%	13.6%
Intersección-Pampa la Villa Chica	100%	63.5%	20.8%	15.7%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Donde:

L: Vehículos Livianos

M: Vehículos Medianos

P: Vehículos Pesados

Cuando se evalúan diseños es necesario saber la composición del tráfico en el último año de su vida útil, esto se consigue proyectando el tráfico del año base, utilizando la siguiente ecuación:

$$T_e = T_b \times (1 + i)^n$$

Donde :

 T_e : Tráfico del año inicial de la etapa T_b : Tráfico del año base

i : Tasa de crecimiento

n : Número de años entre el año base y el año inicial de la etapa.

TARIJA Y BOLIVIA: INDICADORES DEMOGRÁFICOS, ESTIMACIONES 2012		
DESCRIPCIÓN	TARIJA	BOLIVIA
Superficie (Km2)	37.623	1.098.581
Población total	534.687	10.624.495
Densidad de habitantes (Habitantes por Km2)	14,21	9,67
Porcentaje de población masculina	50,44	49,90
Porcentaje de población femenina	49,56	50,10
<i>Tasa Media Anual de Crecimiento (En porcentaje)</i>	<i>2,34</i>	<i>1,85</i>
Tasa Bruta de Natalidad (Por mil)	24,16	25,59
Tasa Bruta de Mortalidad (Por mil)	5,99	7,15
Tasa global de fecundidad (Hijos por mujer)	2,91	3,17
Edad Media de la Fecundidad (Años)	28,39	28,39
Tasa de mortalidad infantil (Por mil nacidos vivos)	33,29	39,49
Esperanza de vida al nacer total (Años)	69,25	66,82
Esperanza de vida al nacer de hombres (Años)	67,24	64,71
Esperanza de vida al nacer de mujeres (Años)	71,36	69,03
Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Datos obtenidos de las "Proyecciones de Población Nacional y Departamental".		

- **Alternativa I.- Construcción con concreto asfáltico.**

En la alternativa I se considera una vida útil de 15 años. Las características del tráfico en el año 2027 se pueden ver en la Tabla 2.3. En la Tabla 2.4 se puede ver la composición porcentual.

Tabla 2.3
Composición del tráfico el año 2027

Tramo	ADT	L	M	P
Entrada del Camino- Ancon Chico	291	196	56	40
Intersección-Pampa la Villa Chica	242	154	51	38

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 2.4**Distribución Porcentual del Tráfico el año 2027**

Tramo	Total	L	M	P
Entrada del Camino-Ancon Chico	100%	67,4%	19,2%	13,7%
Intersección-Pampa la Villa Chica	100%	63,6%	21,1%	15,7%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **Alternativa II y III.- Construcción con tratamiento superficial doble y triple.**

En la alternativa II y III se considera una vida útil de 7 años. Las características del tráfico en el año 2019 se pueden ver en las Tabla 2.5. En la Tabla 2.6 se puede ver la composición porcentual.

Tabla 2.5**Composición del tráfico el año 2019**

Tramo	ADT	L	M	P
Entrada del Camino-Ancon Chico	247	166	48	34
Intersección-Pampa la Villa Grande	206	131	43	33

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 2.6**Distribución Porcentual [%] del Tráfico del 2019**

Tramo	Total	L	M	P
Entrada del Camino-Ancon Chico	100%	67,2%	19,0%	13,8%
Intersección-Pampa la Villa Chica	100%	63,6%	20,4%	16,0%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.7.1.2. Conversión de los vehículos a esals/vehículo

Las varias cargas que actúan sobre un pavimento producirán diferentes esfuerzos y fallas. Además, distintos tipos y espesores de pavimentos responden de manera diferente a una misma carga. Por tanto el tránsito es transformado a un número equivalente de cargas de 18 kip que producirá las mismas fallas que el tránsito verdadero. Para transformar cada tipo de carga que actúa sobre el pavimento se determina el factor de equivalencia de carga LEF (Load Equivalent Factor).

2.7.1.3. Factor de equivalencia de carga por eje

Este factor relaciona la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un tipo de eje con la producida por el eje de 18 kip (80 kN).

$$LEF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ejes de } 80 \text{ kN(ESALs) que producen una pérdida de Serviciabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes de "x" kN que producen una misma pérdida de Serviciabilidad}}$$

Donde:

X: Carga para la cual se calcula el factor de equivalencia

Como los esfuerzos varían con el tipo y espesor del pavimento, entonces los LEFs de las cargas no son constantes. Otro factor que varía los LEFs es la Serviciabilidad que se adopta para el diseño.

- Para el cálculo de los Factores de equivalencia se utilizaron los valores otorgados por la AASHTO.

Para el uso de las tablas se necesita saber la carga por eje, el tipo de eje (Simple, Tandem, Tridem), la serviciabilidad final "pt", el tipo de pavimento y su espesor, debido a ello, los LEFs para pavimentos flexibles y rígidos se calculan por separado.

2.7.1.4. Cálculo factor de camión

LEF, es una manera de expresar los ejes en ESALs, pero es necesario saber el daño que producen los diferentes tipos de vehículos en el pavimento con los varios tipos de

ejes que posee. Así nace el concepto de factor camión, que es definido como el número de ESALs por vehículo.

Configuración de Ejes de los Vehículos

De acuerdo al estudio de tráfico, la configuración de los ejes de los vehículos se puede ver en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7

Configuración de Ejes de los Vehículos

Vehículo	Configuración de Ejes		
Automóviles	(11)	S	S
Camionetas	(11)	S	S
Buses	(11)	S	SD
Camión Mediano	(11)	S	SD
Camión Grande	(12)	S	T
Camión Articulado	(122)	S	T

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

SD: Simple Dual.

(1): Eje Simple. (S) o (SD)

(2): Eje Tandem. (T)

Cargas de los Ejes

Según el Decreto Ley N°11771, los Límites de la Ley de Cargas para los diferentes tipos de ejes se pueden ver en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8

Límites de Cargas por Eje Decreto Ley N° 11771

Carga Máxima para Eje Delantero:	7.00 ton.
Carga Máxima para Eje Trasero simple (llanta doble):	11.00 ton.
Carga Máxima para Eje Trasero Tandem (llanta doble):	18.00 ton.
Carga Máxima para Eje Trasero Tridem (llanta doble):	25.00 ton.

FUENTE: PLAN MAESTRO DE TRANSPORTE POR SUPERFICIE

Debido a que los automóviles y las camionetas no tienen la capacidad de llegar a la carga máxima permitida se utilizan valores menores, que se ven en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9

Cargas por Ejes de Automóviles, Camionetas y Buses (ton.)

Vehículo	Eje Trasero	Eje Delantero
Automóvil	1.0	1.0
Camioneta	3.3	1.6
Buses	8.3	4.2

FUENTE: RICO Y CASTILLO

Cálculo del Factor Camión de Cada Vehículo

Censos efectuados en diferentes lugares del país muestran que las cargas permisibles exceden considerablemente el máximo permitido. Sin embargo, se aconseja utilizar los valores de la ley de cargas, considerando que estará en vigencia cuando el proyecto esté terminado. De acuerdo a la ley de cargas, el factor camión para los diferentes tipos de vehículos pesados se ve en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10

Factor Camión de acuerdo a La Ley de Cargas

Configuración de Ejes	Eje Delantero	1er Eje Trasero	2do Eje Trasero	TF
11	1.26	3.3		4.56
12	1.26	2.02		3.28
122	1.26	2.02	2.02	5.3

FUENTE: PLAN MAESTRO DE TRANSPORTE POR SUPERFICIE

Los valores encontrados en la Tabla 2.10, no toman en cuenta el tipo de pavimento (flexible o rígido) para calcular los LEFs.

Para el cálculo del factor camión, TF (Truck Factor) se utilizaron las tablas proporcionadas por la AASHTO, se introduce las cargas máximas que están en las Tablas 2.8 y 2.9. Se asume una serviciabilidad final de $pt = 2.5$. El espesor del pavimento es una de las variables necesarias para encontrar el LEF, en el caso del pavimento flexible se asume un valor de $SN = 2''$ (50.8 mm) y para rígido $D = 7''$ (177.8 mm).

Tabla 2.11**Factor de Carga Vehículos Livianos**

	Eje Delan.	Eje Tras.	TF Flex.
Peso [ton]	1.0 (S)	1.0 (S)	0.0004
LEF Flexible	0.0002	0.0002	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.12**Factor de Carga Vehículos Medianos**

	Eje Delan.	Eje Tras.	TF Flex.
Peso [ton]	7.0 (S)	11.0 (S)	1.119
LEF Flexible	0.3357	0.7833	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.13**Factor de Carga Vehículos Pesados**

	Eje Delan.	Eje Tras.	TF Flex.
Peso [ton]	7.0 (S)	18.0 (T)	1.7425
LEF Flexible	0.52275	1.21975	

Fuente: Elaboración Propia

2.7.1.5. ESALs de diseño

El Factor de Distribución Direccional de camiones es igual a 50%, o sea que el mismo número de vehículos pesados circula en ambas direcciones.

De los resultados podemos observar que aunque los porcentajes de los vehículos livianos son mayores, dan valores insignificantes de ESALs, concluyendo que la influencia de vehículos pesados es la más importante.

Tabla 2.14**Número de ESALs de Diseño (Entrada del Camino-Ancón Chico)**

ESALs	Tramo 1
Alternativa I (CA)	15 años: 624,000
Alternativa II y III (TSD Y TST)	7 años: 187,000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.15**Número de ESALs de Diseño (Intersección-Pampa la Villa Chica)**

ESALs	Tramo 2
Alternativa I (CA)	15 años: 583,000
Alternativa II y III (TSD Y TST)	7 años: 175,000

Fuente: Elaboración Propia

La AASHTO proporciona espesores mínimos en función al número de ESALs a usarse en pavimentos con concreto asfáltico.

Tabla 2.16**Espesores Mínimos de Concreto Asfáltico y Base Granular**

ESALs	CA	Base
Menor a 50,000	2.5 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: AASHTO Design Guide

CAPÍTULO III:

INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1. INTRODUCCIÓN

Para realizar el asfaltado tramo vial Ancón Chico - Pampa la Villa Chica ubicado en el Municipio de Uriondo (Valle de Concepción), se necesita realizar el mejoramiento del camino para desarrollar las condiciones técnicas estructurales y geométricas que permitan el tránsito constante de vehículo, por lo cual como parte del presente Estudio a Diseño Final se encuentra el Diseño Geométrico de esta vía en función a los siguientes parámetros.

Los levantamientos topográficos ejecutados para el Diseño Final, han sido realizados con el detalle necesario para el diseño definitivo de las obras. En este sentido, se realizan los levantamientos en detalle siguiendo los actuales alineamientos de la carretera existente.

La topografía es uno de los factores principales en la localización de una carretera, generalmente afecta a los alineamientos, pendientes, visibilidad y sección transversal de la vía.

Realizar el estudio de trazo por el camino actual y considerar las variantes necesarias para determinar la mejora desde el punto de vista técnico y socioeconómico.

Para las características técnicas de la vía en proyecto, que se tuvieron en cuenta para la elaboración del diseño final, se ha tomado como base las recomendaciones del Manual de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras de la Administradora Boliviana de Carreteras, obteniéndose parámetros de diseño adecuados al análisis efectuado sobre las características topográficas, la velocidad, seguridad en la

operación vehicular, etc. Adicionalmente se tomaron conceptos específicos de las normas AASTHO.

Se ha considerado que la velocidad de los vehículos es uno de los factores principales en cualquier proyecto vial, y esta 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 y con curvas de transición, 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.

3.2. DISEÑO GEOMÉTRICO

3.2.1. GENERALIDADES

Para realizar la construcción del asfaltado tramo vial Ancón Chico - Pampa la Villa Chica ubicado en el municipio del Valle, se necesita realizar el mejoramiento del camino para desarrollar las condiciones técnicas estructurales y geométricas que permitan el tránsito constante de vehículo, por lo cual como parte del presente Estudio a Diseño Final se encuentra el Diseño Geométrico de esta vía en función a los siguientes parámetros.

3.2.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO

3.2.2.1. ASPECTOS GENERALES

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

Sin embargo en Bolivia existe una clasificación definida en el Decreto Supremo 25134 de 1998 que define el Sistema Nacional de Carretera. 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.

3.2.2.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

3.2.2.2.1. Categoría de las vías

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

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

Cada Categoría se subdivide según las Velocidades de Proyecto consideradas al interior de la categoría. Las Vp más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo extorno 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 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.

En trazados por donde se atraviesan zonas urbanas o suburbanas, salvo casos particulares, no es el relieve del terreno el que condiciona el trazado, siendo el entorno de la ciudad, barrio industrial, uso de suelo, etc., el que los impone. Situaciones normalmente reguladas por el Plan Regulador y su Seccional correspondiente.

La Tabla 1.3-1, que se presenta a continuación resume las características principales según categorías.

**TABLA 1.3-1 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO
CARRETERAS Y CAMINOS RURALES**

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	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

En los proyectos de nuevos trazados, todas las carreteras o caminos con calzadas unidireccionales deben contar con un cantero central que separe físicamente las calzadas.

Los anchos de cantero central se especifican en el Capítulo 3. El caso de Primarios y Colectores sin cantero central (N° de Calzadas (1)) sólo podrán darse en vías existentes diseñadas y construidas antes de la entrada en vigencia del presente Manual.

La definición conceptual de las categorías se presenta en los siguientes Literales y un resumen integrado con la funcionalidad de la vía, en la Tabla 1.3-3.

a. Autopista (O)

Son carreteras nacionales diseñadas desde su concepción original para cumplir con las características y niveles de servicio que se describen a continuación. Normalmente su emplazamiento se sitúa en terrenos rurales donde antes no existían obras viales de alguna consideración, que impongan restricciones a la selección del trazado y pasando a distancias razonablemente alejadas del entorno suburbano que rodea las ciudades o poblados (circunvalaciones).

Están destinadas a servir prioritariamente al tránsito de paso, al que se asocian longitudes de viaje considerables, en consecuencia deberán diseñarse para velocidades de desplazamiento elevadas, pero en definitiva compatibles con el tipo de terreno en que ellas se emplazan. Todo lo anterior debe lograrse asegurando altos estándares de seguridad y comodidad.

La sección transversal estará compuesta por dos o tres carriles unidireccionales dispuestos en calzadas separadas por un cantero central de al menos 13 m de ancho si está previsto pasar de 2 carriles iniciales por calzada a 3 carriles futuros. En ese caso las estructuras deberán construirse desde el inicio para dar cabida a la sección final considerada.

En ellas se autorizará sólo la circulación de vehículos motorizados especialmente diseñados para el transporte de pasajeros y carga, quedando expresamente prohibido el tránsito de maquinaria autopropulsada (Agrícola, de Construcción, etc.)

Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son:

- Terreno Llano a Ondulado Medio 120 km/h
- Terreno Ondulado Fuerte 100 km/h
- Terreno Montañoso 80 km/h

Para poder desarrollar las velocidades indicadas bajo condiciones de seguridad aceptables las Autopistas deberán contar con Control Total de Acceso a todo lo largo del trazado, respecto de los vehículos, peatones y animales que se encuentren fuera de la faja del derecho de vía. El distanciamiento entre enlaces consecutivos deberá ser mayor o igual a 5,0 Km., medidos entre los extremos de los carriles de cambio de velocidad de ambos enlace, o se considerará el diseño de accesos direccionales aislados.

El resto de las características geométricas y obras anexas se detallan en el Capítulo 2 y Capítulo 3.

b. Autorrutas (I.A)

Son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

Están destinadas principalmente al tránsito de paso, de larga distancia, pero en muchos subtramos sirven igualmente al tránsito interurbano entre localidades próximas entre sí. Podrán circular por ellas toda clase de vehículos motorizados incluso aquellos que para hacerlo deban contar con una autorización especial, y que no estén expresamente prohibidos o cuyo tipo de rodado pueda deteriorar la calzada.

La sección transversal deberá contar con al menos dos carriles unidireccionales por calzada debiendo existir un cantero central entre ambas cuyas dimensiones mínimas se especifican en el Capítulo 3.

Las velocidades de proyecto consideradas son:

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| – Terreno Llano a Ondulado Fuerte | 100 y 90 km/h |
| – Terreno Montañoso | 80 km/h |

Las Autorrutas deberán contar con Control Total de Acceso respecto del acceso o salida de vehículos a ella; preferentemente se dará también control de acceso respecto de los peatones y animales a todo lo largo de la ruta, previéndose obligatorio este tipo de control de acceso en las zonas de enlaces, pasarelas y zonas adyacentes a poblados, con longitudes suficientes como para forzar a los peatones a usar los dispositivos especialmente dispuestos para su cruce. (Ver Tópico 1.2.5).

El distanciamiento entre Enlaces sucesivos lo regulará la Administradora Boliviana de Carreteras según las circunstancias particulares de cada emplazamiento; en todo caso resulta conveniente que el espacio libre entre extremos de carriles de cambio de velocidad de enlaces sucesivos no sea menor que 3,0 Km.

c. 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.

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:

TABLA 1.3-2 VELOCIDADES DE DISEÑO PARA CARRETERAS PRIMARIAS

	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

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. El resto de los cruces con otros caminos deberán contar con intersecciones canalizadas, provistas de carriles de cambio de velocidad en los casos que se indican en el Capítulo 6. Los Accesos directos a la carretera se tratarán según lo establecido en Párrafo 1.2.5.2.

d. Caminos colectores (II)

Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. El servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante tiene una importancia similar. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados. En zonas densamente pobladas se deberán habilitar carriles auxiliares destinados a la construcción de ciclovías.

Su sección transversal normalmente, es de 2 carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales. Las velocidades de proyecto consideradas son:

– Terreno Llano a Ondulado Medio	80 km/h
– Terreno Ondulado Fuerte	70 km/h
– Terreno Montañoso	60 km/h

Normalmente este tipo de caminos poseerá pavimento superior, o dentro del horizonte de proyecto será dotado de él, consecuentemente la selección de la Velocidad de Proyecto debe ser estudiada detenidamente. Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados y vehículos a tracción animal que cuenten con los dispositivos reglamentarios señalados en la Ordenanza del Tránsito. En zonas densamente pobladas se construirán carriles auxiliares en que se habilitarán Ciclovías. (Ver Párrafo 3.2.5.3 del Capítulo 3).

e. Caminos locales (III)

Son caminos que se conectan a los Caminos Colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las Ciclovías.

La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales de las dimensiones especificadas en la Sección 1.3 y las velocidades de proyecto consideradas son:

– Terreno Llano a Ondulado Medio	70 km/h
– Terreno Ondulado Fuerte	60 km/h
– Terreno Montañoso	50 y 40 km/h

f. Caminos de desarrollo

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. Sus características responden a las mínimas consultadas para los caminos públicos, siendo su función principal la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducidas, de hecho las velocidades de proyecto que se indican a continuación son niveles de referencia que podrán ser disminuidos en sectores conflictivos.

La Sección Transversal que se les asocia debe permitir el cruce de un vehículo liviano y un camión a velocidades tan bajas como 10 km/hr y la de dos camiones, estando uno de ellos detenido, según se indica en el Capítulo 3.

Las velocidades referenciales de proyecto son:

– Terreno Llano a Ondulado Medio	50 y 40 km/h
– Terreno Ondulado Fuerte a Montañoso	30 km/h

3.2.2.2.2. Códigos de la clasificación

En la última columna del Tabla 1.3-1 se dan ejemplos de los códigos estandarizados.

- La categoría de la Carretera o Camino se indica mediante, la inicial del nombre que le corresponde.
- En paréntesis se indica el número total de carriles.
- Seguido de un guión se anota la Velocidad de Proyecto. No se considera la Velocidad de Proyecto de 110 km/h. No obstante ello, en el Capítulo 2 se calcularán los parámetros asociados a ella para contar con los valores de referencia correspondientes, que permitirán diseñar tramos de transición entre un trazado amplio a uno con elementos mínimos para la Velocidad de Proyecto considerada.

3.2.2.2.3. Características según categoría

En la Tabla 1.3-3 se presenta una síntesis de las características asociadas a cada categoría, de acuerdo con los criterios expuestos en la Sección 1.2. Dicha Tabla debe ser considerada como una ayuda memoria teniendo especial cuidado de ponderar adecuadamente los factores humanos, económicos, estéticos y ambientales que no están mencionados en ella. Los rangos de tránsito que se señalan son sólo indicativos ya que condiciones topográficas particulares, o el porcentaje de vehículos pesados en el VHD o decisiones adoptadas por la Autoridad, pueden crear situaciones no consideradas.

TABLA 1.3-3 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LAS CARRETERAS Y CAMINOS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN FUNCIONAL

		CARRETERAS			CAMINOS		
CATEGORÍA	AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIOS	COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO	
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	120 - 100 - 80	100 - 90 - 80	100 - 90 - 80	80 - 70 - 60	70 - 60 - 50 - 40	50 - 40 - 30	
TIPO DE TERRENO	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	
PISTAS DE TRANSITO	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES	
FUNCION	Prioridad absoluta Control total de acceso de acceso	Prioridad absoluta Control total de acceso de acceso	Consideración principal Control parcial de acceso	Continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia	Continuidad de tránsito consideración secundaria	Consideración primaria	
CONEXIONES	Autopistas Autorrutas Primarios (Colectores) Enlaces	Autopistas, Autorrutas Primarios Colectores Enlaces Accesos direccionales	Autopistas, Autorrutas Prim. y Colectores (Locales) Enlaces Intersecciones (Acc. Directo)	Todos Todos	(Primarios) Colectores, Locales Desarrollo (Intersección) Acceso Directo	Colectores Locales Desarrollo Acceso Directo	
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1) Años Iniciales Año Horizonte Tipo de Flujo	A, B C Libre Estable (Prox. Inestab)	B C, (D) (Libre) (Prox. Inestab.)	C (2) (D) Estable con restricción (Prximo Inestable)	No Aplicable	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad	
TRANSITO	Veloc. Operación (1) (3) Según demanda rango probable	115 - 95 km/h	95 - 85 km/h	80 - 70 km/h	70 - 60 km/h	50 - 25 km/h	
	Volumenes Típicos de tránsito al año inicial TPDA	UD > 10.000 confirmar fact. económica	BD > 1500 UD > 3.000	BD > 500 UD. Caso especial	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística		
	Tipo de vehículo	Sólo vehic. diseñados para circular normalmente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Todo tipo de vehículos	Vehículo liviano y camiones medianos		

Letras o conceptos entre paréntesis indican situaciones límites en condiciones poco frecuentes.

(1) Considera Trazado Llano y Ondulado; Trazado Montaroso constituye caso particular (Vop = Velocidad Operación usuario medio ~ V 50%) (Definición LL - O - M Ver 1.3.2)

(2) Las Velocidades de Proyecto limitan la posibilidad de niveles mejores aun con baja demanda.

(3): EL RANGO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN SE DA A TITULO INDICATIVO PARA FLUJOS LIBRE - ESTABLE.

BD : Tránsito Bidireccional, total ambos sentidos.

UD: Tránsito Unidireccional, total ambos sentidos.

3.2.2.3. SELECCIÓN DE VELOCIDADES

Para seleccionar la Velocidad de Proyecto óptima correspondiente a un proyecto específico, será conveniente proceder del siguiente modo durante el transcurso del Estudio Preliminar.

- Asignada una categoría se procederá a ejecutar sobre los planos levantados a escala intermedia (1:5.000 o 1:10.000) un anteproyecto preliminar utilizando la Velocidad de Proyecto que se presume adecuada. Este anteproyecto preliminar dará mayor importancia al análisis de los puntos críticos del trazado a fin de establecer la influencia de la velocidad seleccionada sobre los costos de inversión y la posibilidad física de implantar en el terreno los elementos del trazado.
- Del anterior análisis puede resultar evidente que la velocidad seleccionada resulta alta o por el contrario que con aumentos marginales de inversión ella puede ser elevada, ganándose en seguridad y capacidad de la ruta.
- Si la elección no resulta evidente, los estudios realizados permiten contar con los antecedentes de costo y con cálculos aproximados de capacidad y Velocidad de Operación, que permitan realizar la comparación de alternativas a nivel de Prefactibilidad, para determinar la Velocidad de Proyecto óptima.

En ciertos casos un análisis como el descrito puede llegar a concluir que la categoría asignada al proyecto no es compatible con la rentabilidad del mismo, debiendo en esos casos revisarse los criterios empleados para seleccionar la categoría.

3.2.3. DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TRAZADO

3.2.3.1. ASPECTOS GENERALES

3.2.3.1.1. EL TRAZADO

Las carreteras y caminos son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Elevación y Sección Transversal.

El elemento básico para tal definición es el eje de la vía, cuyas proyecciones en planta y elevación definen la planta y el alineamiento vertical respectivamente.

Estos ejes en planta y elevación, deben cumplir con una serie de normas y recomendaciones. Estas pretenden conciliar la conveniencia económica de adaptarlos lo más posibles al terreno, con las exigencias técnicas requeridas para posibilitar desplazamientos seguros de un conjunto de vehículos a una cierta velocidad, definida genéricamente como Velocidad de Proyecto.

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y elevación y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas según una Instrucción de Diseño, constituye el trazado del eje y, por extensión, de la carretera.

3.2.3.1.2 VARIABLES FUNDAMENTALES

En el Capítulo 1 se describieron los factores que determinan las características de una vía. Se puede considerar que el diseño geométrico propiamente tal se inicia cuando se define, a partir de las consideraciones y antecedentes del caso, una Categoría y una Velocidad de Proyecto para ella. No obstante ello, éste es sólo el primer paso del proceso, pues en la medida que el trazado se desarrolle por terrenos que no imponen restricciones perceptibles por el usuario y los elementos del trazado sean consecuentes con ello, un porcentaje significativo de los usuarios tenderá a circular a

velocidades que pueden superar las de proyecto (Ver Tópico 1.2.4, Párrafos 2.1.3.1 y 2.1.3.2).

Será entonces la velocidad de desplazamiento previsible que adopten los usuarios en los distintos tramos de la ruta, durante períodos de baja demanda y los riesgos que puedan enfrentar, los que ponderados mediante criterios estadísticos, condicionen la elección de los parámetros máximos, mínimos y deseables que fije la Instrucción para el diseño de Carreteras y Caminos. En cualquier caso, a todo lo largo de la ruta

se garantiza un desplazamiento seguro y confortable para aquellos que circulan a la Velocidad de Proyecto y en algunos tramos para velocidades superiores a esta, en previsión de las velocidades que adopte un porcentaje significativo de los usuarios

Existe en consecuencia una interdependencia entre la geometría de la carretera y el movimiento de los vehículos en ella (dinámica del desplazamiento), y entre esta geometría y la visibilidad y capacidad de reacción que el conductor tiene al operar su vehículo. Dicho de otra manera, no basta que el movimiento de los vehículos sea dinámicamente posible en condiciones de estabilidad, sino que además debe asegurarse, para todo punto de la vía, que el usuario tenga suficiente tiempo para adecuar su conducción a la geometría de ésta y a las eventualidades que puedan presentarse.

3.2.3.1.3. CRITERIOS BÁSICOS

La presente versión del Capítulo 2 introduce criterios de diseño, que deberán emplearse en el diseño de Carreteras y Caminos en nuevos trazados y en las variantes a las obras existentes. Su aplicación en la rectificación de trazados existentes en que se mantiene el emplazamiento general de la ruta, no siempre será posible de manera integral, en razón de los costos que ello significaría, pudiendo la Administradora Boliviana de Carreteras autorizar algunas relajaciones según se establece en la Sección 2.6.

Los criterios a aplicar en los distintos casos se establecen mediante límites normativos y recomendaciones que el proyectista deberá respetar y en lo posible, dentro de límites económicos razonables, superar, para lograr un trazado que satisfaga las necesidades del tránsito y brinde la seguridad y calidad de servicio, que se pretende obtener de la carretera o camino, según sea la categoría asignada.

El buen diseño no resulta de una aplicación mecánica de los límites normativos, que en general representan valores mínimos. Por el contrario, el diseño requiere buen juicio y flexibilidad por parte del proyectista, para abordar con éxito la combinación de los elementos en planta y elevación, sin transgredir los límites normativos.

3.2.3.2. PUNTOS OBLIGATORIOS

Los puntos obligatorios son puntos por donde tendrá que pasar la carretera, en base al reconocimiento se localizan puntos obligados, cuando el tipo de terreno no tiene problemas topográficos únicamente se ubicaran estos puntos de acuerdo con las características geológicas o hidrológicas y el beneficio o economía del lugar, en caso contrario se requiere de una localización que permita establecer pendientes dentro de los lineamientos o especificaciones técnicas.

Existen dos tipos de puntos obligados:

3.2.3.2.1. TÉCNICOS:

- Puerto topográfico.- Es un punto bajo de paso a través de una cordillera, siendo los puertos los lugares más decisivos en la localización de una vía terrestre. El paso por los puertos ahorra en el desarrollo longitudinal de la vía, evita que se tenga pendientes muy fuertes y por lo tanto ahorra mucho en la construcción.

- Cruce de quebrada o río.- Representa las mejores condiciones de paso

3.2.3.2.2. NO TÉCNICOS:

- Poblacional
- Instalaciones industriales
- Lugares educacionales
- Lugares de recreación

Se deben escoger los centros que es necesario unir para tener una vía eficaz y que efectivamente ayude a la economía de la región.

En el presente proyecto como no fueron dados los puntos obligados se opto por elegir los puntos de acuerdo a lo más conveniente en el trazado de la carretera, evitando el exceso de movimientos de tierra.

En nuestro caso se adoptaron tres puntos obligatorios que se encuentran remarcados en el plano.

3.2.4. TRAZO PRELIMINAR (LÍNEA DE PELO)

El proceso del trazado implica una búsqueda continua, una evaluación y selección de las franjas de terreno que han quedado como merecedores de estudios más detallados después de haber practicado el reconocimiento, evaluación y ajuste de los trazados tentativos.

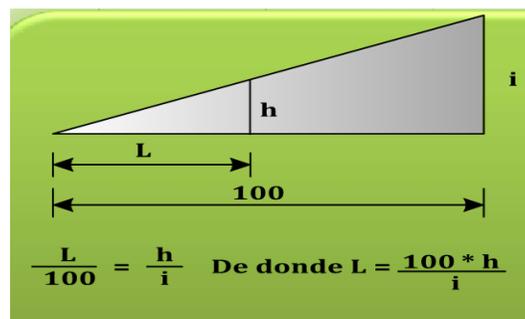
Una vez llevado a cabo el reconocimiento se lleva a cabo el trazado preliminar, que no es más que una poligonal abierta, partiendo de un punto al que se le denomina Km. 0 + 000, y se van clavando estacas cada 20 m. en tramos rectos y cada 10 m. en curvas, y en aquellos lugares accidentados y puntos notables que lo ameriten hasta llegar al vértice que le sigue, continuando en esta forma a todo lo largo de la línea.

El trazo preliminar constituye la base para la selección definitiva del trazado y proporciona datos que sirven para preparar presupuestos preliminares de la obra.

Debido a ello debe ser llevado a cabo de la mejor manera posible marcando todos los accidentes topográficos que de una manera u otra afecten al trazo definitivo.

Luego se realizó el trazado de la línea de pelo de tierra la cuál conociendo la equidistancia entre las curvas de nivel y la pendiente gobernadora; se calcula la abertura del compás para que con sus puntas las curvas de nivel contiguas a la línea imaginaria que une estos puntos tenga la pendiente deseada.

Tal línea pasa por los puntos obligados. En la determinación de la abertura entre las puntas del compás se utilizará la siguiente relación:



Donde:

L = longitud deseada entre curvas

H = altura entre curvas

I = pendiente variable con máxima de 10%

La línea de pelo de tierra es la base para proyectar la línea definitiva que con las mejores tangentes posibles deberá apegarse lo más que se pueda a la línea o pelo de tierra.

En el trazado preliminar de la línea de pelo a causa del relieve topográfico se adoptaron diferentes pendientes tratando de cumplir los límites de pendiente que tiene cada tipo de carretera en nuestro caso:

TIPO DE CARRETERA	I.A
PENDIENTE MAX.	7%

3.2.5. TRAZADO DEFINITIVO

3.2.5.1. TRAZADO EN PLANTA

3.2.5.1.1. Controles del trazado en planta

En tramos restrictivos del trazado se deberá asegurar una operación segura y confortable considerando la Velocidad de Proyecto (V_p) correspondiente a la categoría de la ruta; en tanto que en los tramos de trazado amplio se deberá considerar la $V_{85\%}$ ó la V^* según corresponda, asociada al conjunto de los elementos del tramo, en previsión de las velocidades de desplazamiento que adoptará un porcentaje importante de los usuarios en los períodos de baja demanda. Si por condiciones topográficas se debe cambiar la velocidad de proyecto, el diseño debe consultar el tramo de transición correspondiente, situación que se señalará adecuadamente en terreno.

Los límites normativos que se indican más adelante se aplican a la combinación de elementos rectos y curvos de caminos bidireccionales y unidireccionales, excepto cuando se haga la salvedad correspondiente.

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal:

- Categoría de la Ruta
- Topografía del Área
- Velocidad de Proyecto
- $V_{85\%}$ para diseñar las Curvas Horizontales
- V^* para verificar Visibilidad de Frenado
- Coordinación con el Alineamiento Vertical
- Costo de Construcción, Operación y Mantenimiento

Todos estos elementos deben conjugarse de manera tal que el trazado resultante sea el más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la Clasificación Funcional para Diseño (Sección 1.3).

El alineamiento horizontal deberá proporcionar en todo el trazado a lo menos la distancia mínima de visibilidad de frenado, de acuerdo a lo establecido en el Tópico 2.2.2.

3.2.5.1.2. Localización del eje en planta

Si el proyecto considera calzada única, en la mayoría de los casos el eje en planta será el eje de simetría de la calzada de sección normal, prescindiendo de los posibles ensanches o carriles auxiliares que puedan existir en ciertos sectores. El eje de simetría será también el eje de giro para desarrollar los peraltes.

En carreteras unidireccionales provistas de cantero central, el eje se localizará en el centro del cantero central y los bordes interiores del pavimento de las calzadas poseerán la misma cota que dicho eje en las secciones transversales correspondientes. Los ejes de giro del peralte corresponderán en este caso a los bordes interiores del pavimento de cada calzada.

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes el eje corresponderá al eje de simetría de cada calzada, el que también será eje de giro de los peraltes. Sin embargo, si las calzadas se independizan sólo en un tramo, conviene mantener el eje en el borde interior del pavimento para facilitar el empalme y la coherencia general del proyecto cuando estas vuelvan a juntarse.

En carreteras bidireccionales, para las que en el mediano plazo se prevea la construcción de la segunda calzada, la Administradora Boliviana de Carreteras decidirá oportunamente si se diseñan considerando un eje de simetría en la calzada inicial o un eje localizado en el futuro cantero central, proyectándose en este caso con bombeo en un solo sentido.

Para los carriles de aceleración, deceleración y ramales de intersecciones y enlaces, se definirán ejes adecuados a cada situación según se establece en el Capítulo 6.

3.2.5.1.3. Criterios para establecer el trazado en planta

a. Elementos del trazado en planta

La planta de una carretera preferentemente deberá componerse de una sucesión de elementos curvos que cumplan las relaciones que se fijan más adelante y de aquellos tramos en recta que sean indispensables.

Los elementos curvos comprenden:

- Curvas Circulares
- La parte central circular y dos arcos de enlace
- Otras combinaciones de arco circular y arco de enlace

b. Tendencia actual

La tendencia actual en el diseño de carreteras de cierto nivel se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas. Esta forma de trazado se preferirá por cuanto los largos tramos rectos inducen velocidades $V_{85\%}$ muy por sobre la velocidad de proyecto, aumentan el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto, y porque la monotonía en la conducción disminuye la concentración del conductor, lo que en oportunidades es motivo de accidentes. Una sucesión de curvas de radios adecuados limitan la $V_{85\%}$ y mantienen al conductor atento al desarrollo del trazado. Por otra parte, las curvas armonizan en mejor forma con las sinuosidades del terreno, proporcionando claras ventajas desde el punto de vista estético y económico.

En terrenos llanos y ondulados suaves los conductores esperan poder desarrollar velocidades relativamente altas y consecuentemente se deberán evitar los radios mínimos correspondientes a la categoría de la ruta, los que sólo podrán emplearse

en sectores obligados, siempre que estén precedidos de elementos curvos que van disminuyendo paulatinamente.

Los trazados sinuosos compuestos de curvas cortas, deberán evitarse en trazados de velocidad de proyecto sobre 70 km/h pues inducen a una conducción errática.

En terrenos ondulados fuertes y montañosos, los conductores están dispuestos a una mayor restricción pudiendo emplearse elementos en el orden de los mínimos de norma, siempre que ellos no aparezcan en forma sorpresiva.

c. El problema de la visibilidad

Si bien el trazado curvo tiene las bondades que se han indicado, la obtención de visibilidad de adelantamiento para caminos bidireccionales exige tramos rectos o de curvatura muy suave, que permiten adelantar en el mayor porcentaje posible de su longitud (Ver Párrafo 2.2.3.2). Las curvas del orden del mínimo admisible disminuyen la confianza del conductor para adelantar, aunque ofrezcan visibilidad adecuada. Las rectas largas que se impongan para facilitar el adelantamiento deben terminar en curvas horizontales cuyo radio asegure una velocidad específica mayor o igual que la V85% definida en Párrafo 2.1.3.1.

d. Elementos de curvatura variable

La utilización de elementos de curvatura variable entre recta y curva circular, o bien como elemento de trazado propiamente tal, se hace necesaria por razones de seguridad, comodidad y estética. Como elemento de curvatura variable con el desarrollo se utilizará la clotoide, cuyas propiedades y campo de aplicación se tratan en Tópicos 2.3.4 y 2.3.5.

3.2.5.2. ENLACE DE CURVAS HORIZONTALES

Cuando dos tangentes son enlazadas por una sola curva, esta recibe el nombre de curva circular simple. Una curva circular simple puede doblar hacia la derecha o hacia la izquierda, recibiendo entonces ese calificativo adicional.

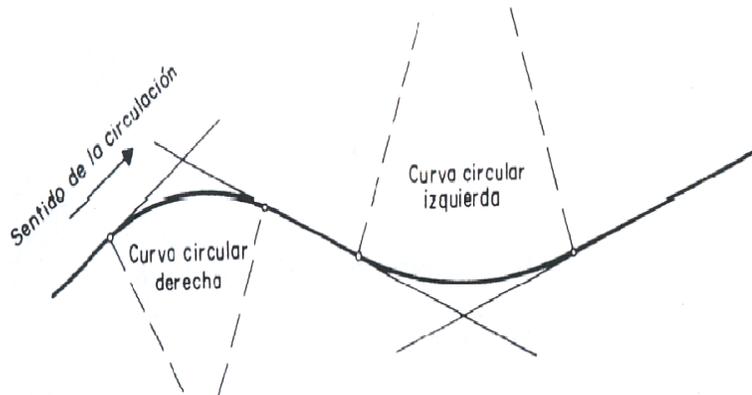


FIG.: Enlace de alineamientos rectos con curvas circulares simples

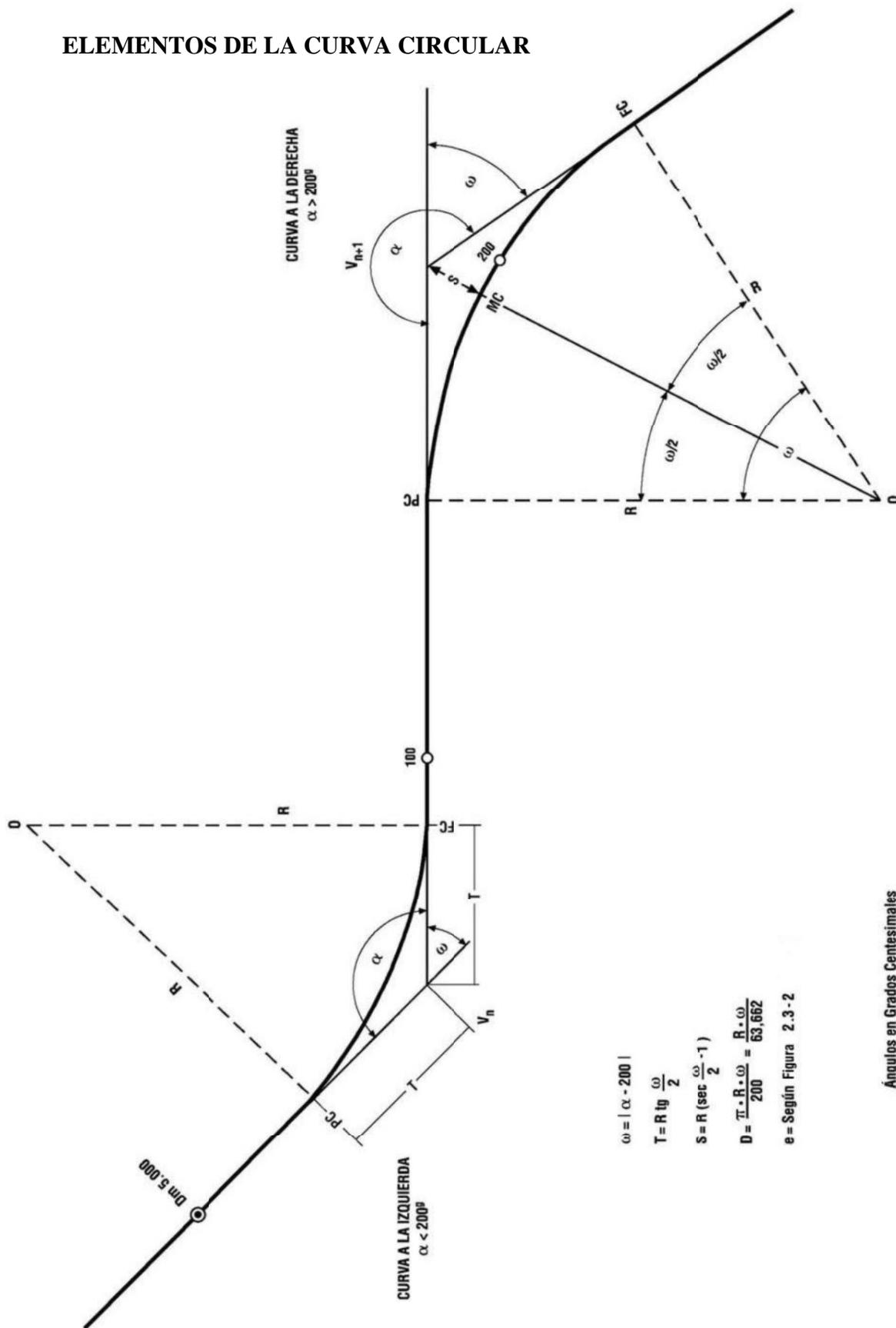
3.2.5.3. DISEÑO DE CURVAS HORIZONTALES

CURVAS CIRCULARES SIMPLES

En el diseño de enlace de curvas horizontales las curvas circulares simples son las que se utilizan frecuentemente cuando los espacios son reducidos en un punto inicial y otro, no siendo lo más recomendable desde el punto de vista geométrico y operacional de los vehículos pero si en forma práctica en carreteras en apertura es conveniente su uso, porque requieren menores espacios lo cual origina menores movimientos de tierra y mayor facilidad en su replanteo.

Una curva circular simple estará diseñada a partir de dos elementos fundamentales que son el ángulo de deflexión o el ángulo interno entre las tangentes y el radio de curvatura que vienen por la geometría del trazado definitivo y por especificaciones técnicas respectivamente

ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR



$$\omega = |\alpha - 200|$$

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\omega}{2}$$

$$S = R \left(\sec \frac{\omega}{2} - 1 \right)$$

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{200} = \frac{R \cdot \omega}{63,662}$$

e = Según Figura 2.3-2

Ángulos en Grados Centesimales

3.2.5.4. ARCOS DE ENLACE O TRANSICIÓN

La incorporación de elementos de curvatura variable con el desarrollo, entre recta y curva circular o entre dos curvas circulares, se hace necesaria en carreteras y caminos por razones de seguridad, comodidad y estética.

El uso de estos elementos permite que un vehículo circulando a la Velocidad Específica correspondiente a la curva circular, se mantenga en el centro de su carril. Esto no ocurre, por lo general, al enlazar directamente una recta con una curva circular, ya que en tales casos el conductor adopta instintivamente una trayectoria de curvatura variable que lo aparta del centro de su carril e incluso lo puede hacer invadir la adyacente, con el peligro que ello implica.

Si establecemos que la variación sea lineal, la transición que se obtiene es igual a la obtenida mediante el movimiento uniforme del volante. Tal curva de transición es la denominada espiral o clotoide esta curva de transición sigue la trayectoria natural de giro de los vehículos desde la recta hasta la curva circular y viceversa

Se suele tomar como índice de altitud a la longitud L de la curva de transición.

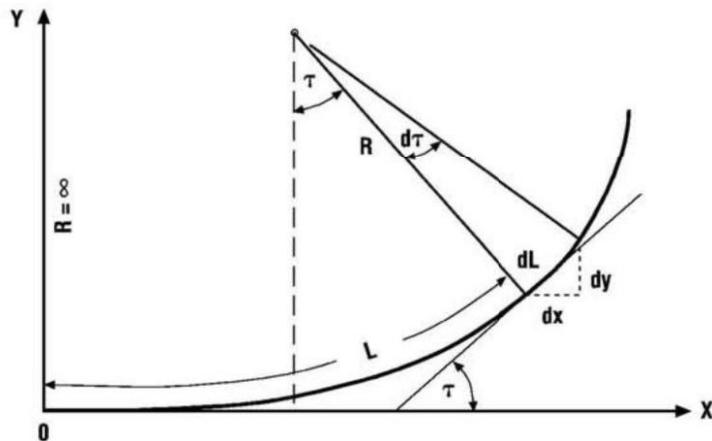
De acuerdo con las NDG los criterios a considerar para la elección de la curva de transición son:

- Comodidad dinámica
- Apariencia general
- Apariencia de borde (o velocidad de rotación del peralte)
- Guiado óptico.

Las NDG indican los valores mínimos de las longitudes de transición que cumplen simultáneamente con las tres primeras condiciones o criterios. Si bien recomiendan el cumplimiento del cuarto criterio, lo dejan librado a la decisión del proyectista según las decisiones del caso.

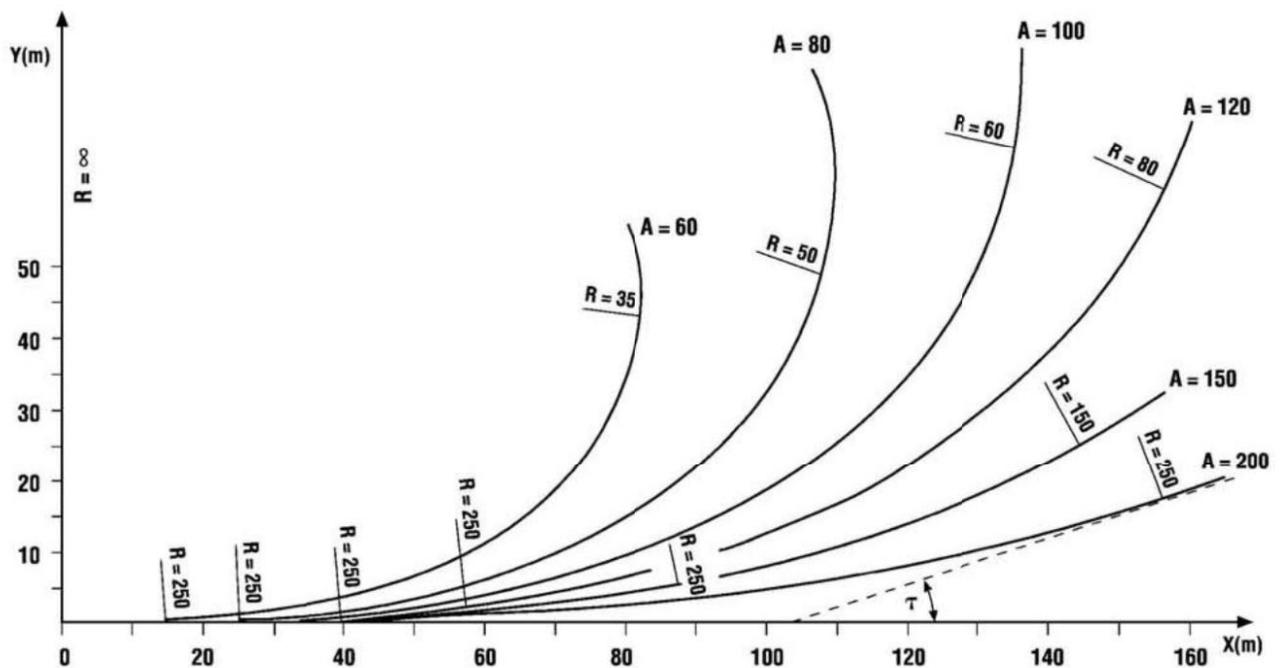
Los elementos de una curva de transición son los siguientes:

a) RELACIONES GEOMETRICAS FUNDAMENTALES

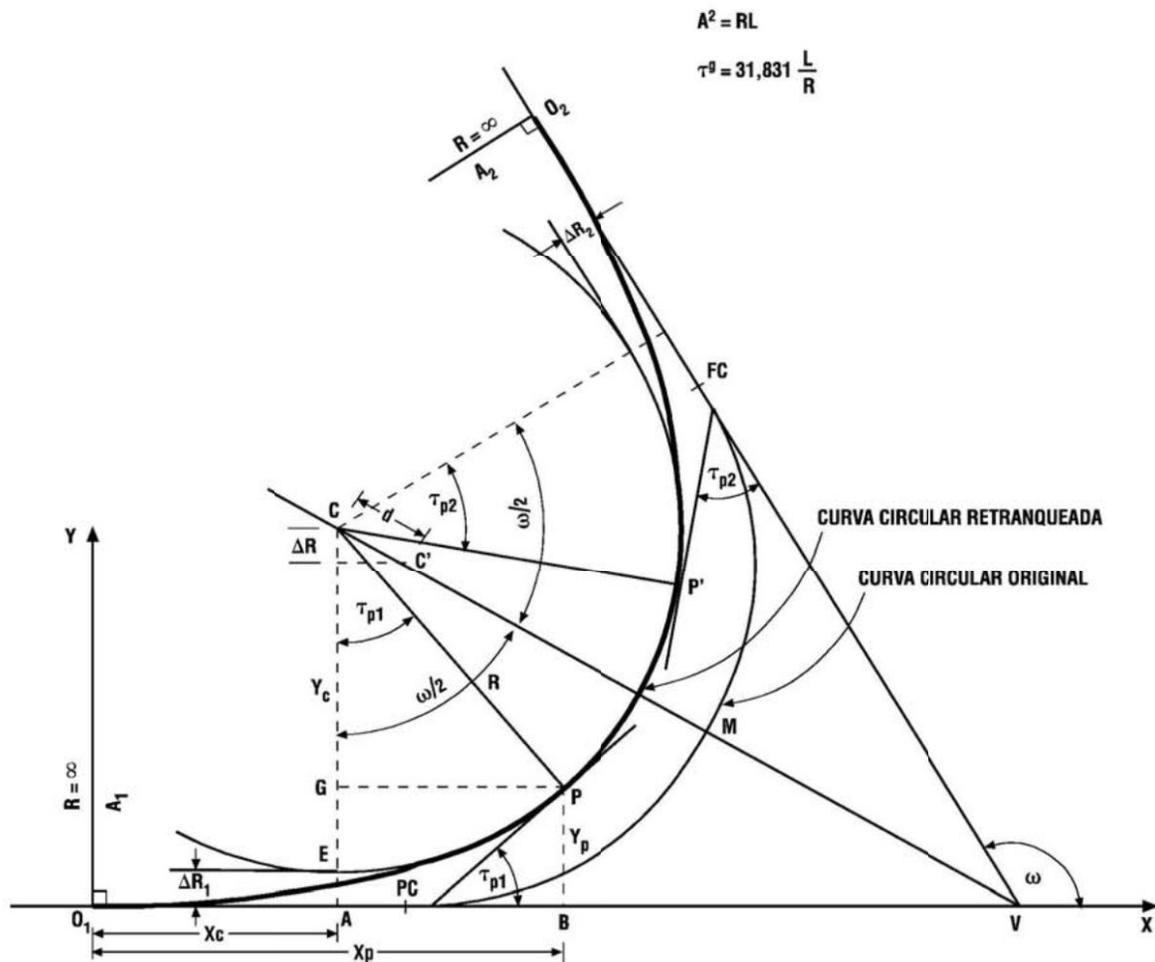


$$\begin{aligned}
 A^2 &= RL \\
 Rd\tau &= dL \\
 \int d\tau &= \int \frac{LdL}{A^2} \\
 \tau &= \frac{L^2}{2A^2} + \text{cte.} \\
 L &= 0; \tau = 0 \dots \text{cte} = 0 \\
 \tau &= \frac{L^2}{2A^2} = 0.5 \frac{L}{R}
 \end{aligned}$$

b) FAMILIA DE CLOTOIDES - MAGNITUDES SEGUN PARAMETRO



EFECTO VARIACION DEL PARAMETRO PARA R CONSTANTE					
A	R	L	τ°	X	Y
60	250	14,40	1,8335	14,399	0,138
80	250	25,60	3,2595	25,593	0,437
100	250	40,00	5,0930	39,975	1,066
120	250	57,60	7,3339	57,524	2,210
150	250	90,00	11,4592	89,709	5,388
200	250	160,00	20,3718	158,369	16,942

**CLOTOIDES SIMÉTRICAS:**

$A_1 = A_2 = A$; $\tau_{p1} = \tau_{p2} = \tau_p$ y todos los elementos función de A y τ_p son iguales.

$$CE = CP = C'M = R$$

$$\text{RETRANQUEO: } \Delta R = EA = (PB - GE)$$

$$\Delta R = Y_p - R(1 - \cos \tau_p)$$

$$\text{RETRANQUEO CENTRO: } d = \overline{CC'} = \frac{\Delta R}{\cos \frac{\omega}{2}}$$

$$\text{ORIGEN CURVA ENLACE: } OV = X_p + AV - AB$$

$$OV = X_p + (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_p$$

$$\text{COORDENADAS DE C: } X_c = X_p - R \operatorname{sen} \tau_p$$

$$Y_c = Y_p + R \cos \tau_p = R + \Delta R$$

$$\text{DESARROLLO CIRCULAR: } \widehat{PP'} = R \cdot (\omega - 2 \tau_p) / 63,662$$

CLOTOIDES ASIMÉTRICAS:

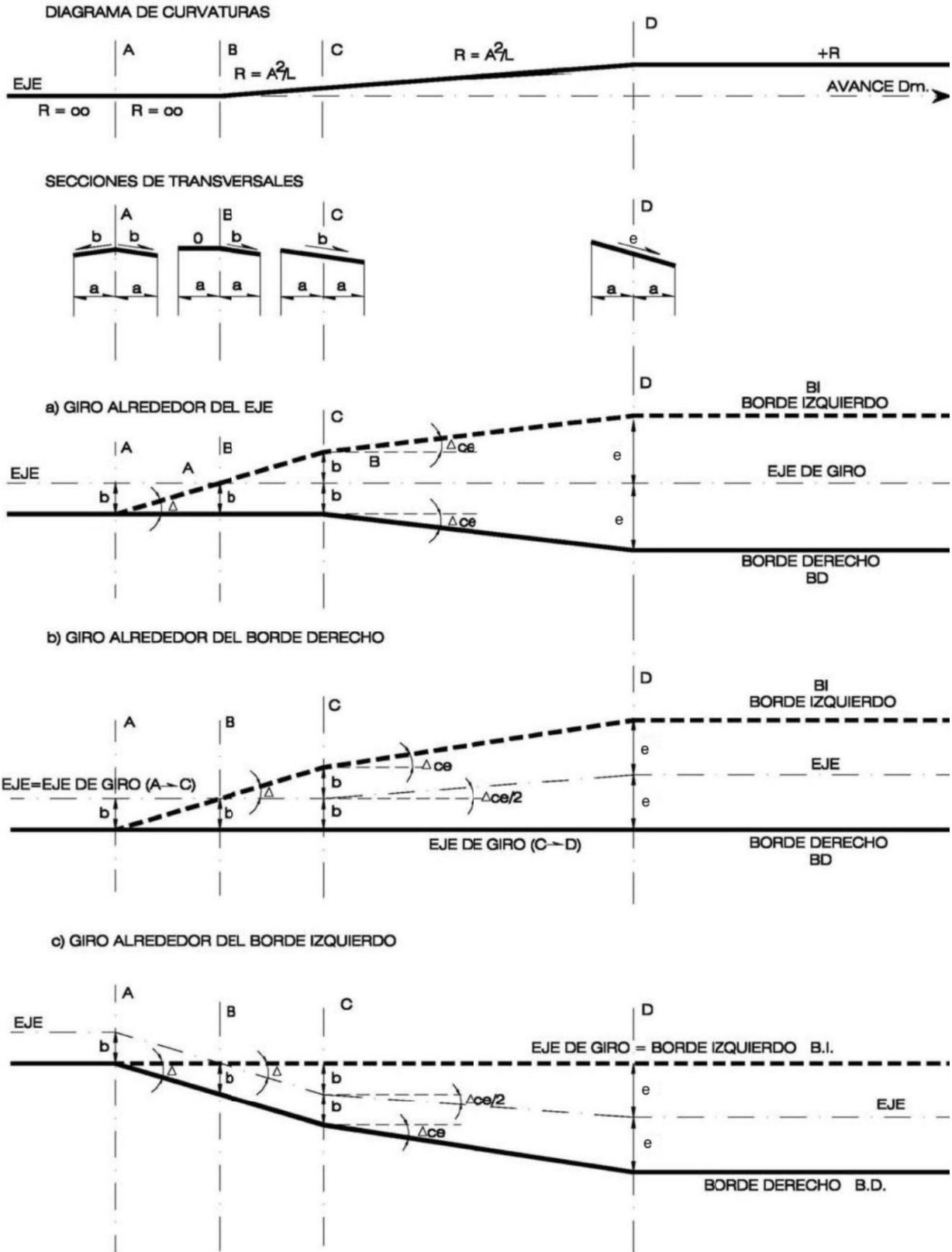
$A_1 \neq A_2$; $\tau_{p1} \neq \tau_{p2}$ y todos los elementos se calculan en función del respectivo A, τ_p .

Además:

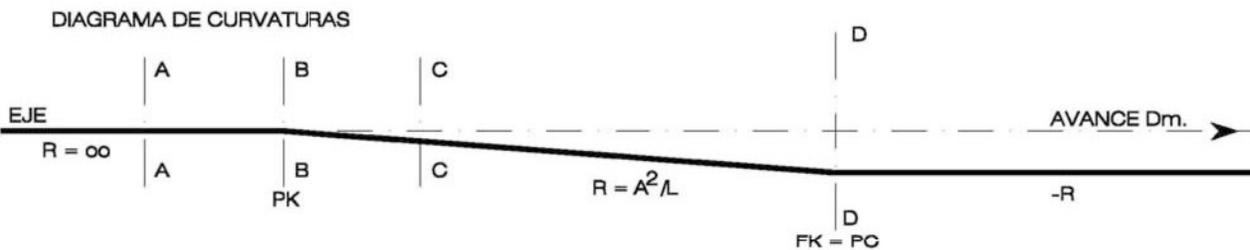
$$O_1V = X_{p1} + (R + \Delta R_1) \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_{p1} + (\Delta R_2 - \Delta R_1) / \operatorname{sen} \omega$$

$$O_2V = X_{p2} + (R + \Delta R_2) \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_{p2} - (\Delta R_2 - \Delta R_1) / \operatorname{sen} \omega$$

$$\widehat{PP'} = R \cdot (\omega - \tau_{p1} - \tau_{p2}) / 63,662$$



Δ mín. = 0.35% para toda Vp.



SECCIONES DE TRANSVERSALES

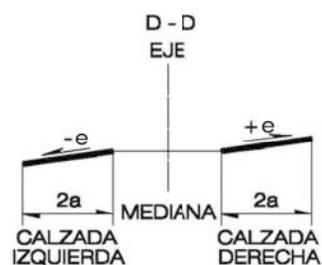
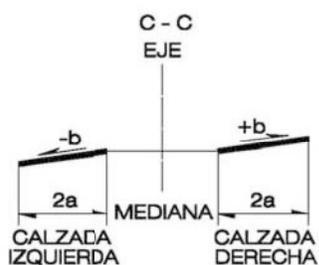
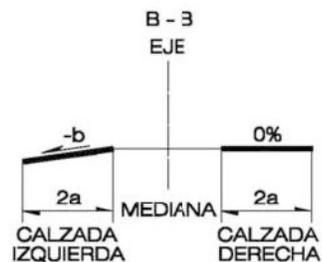
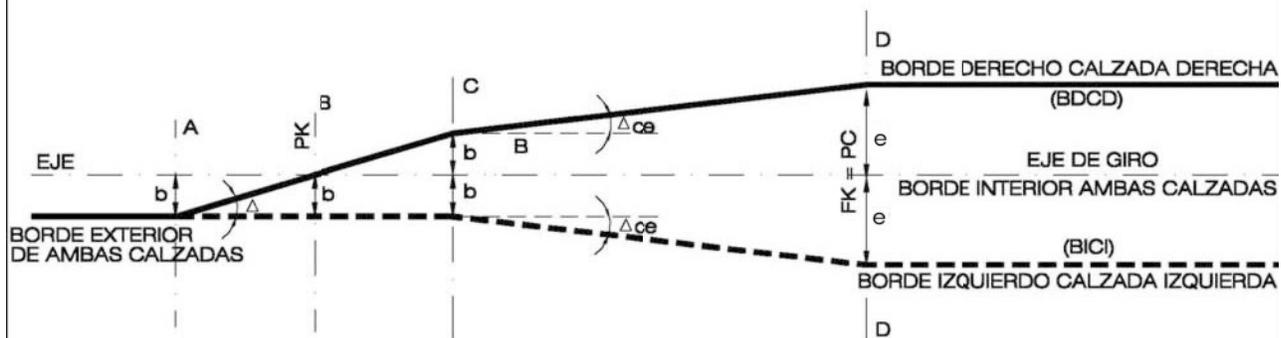
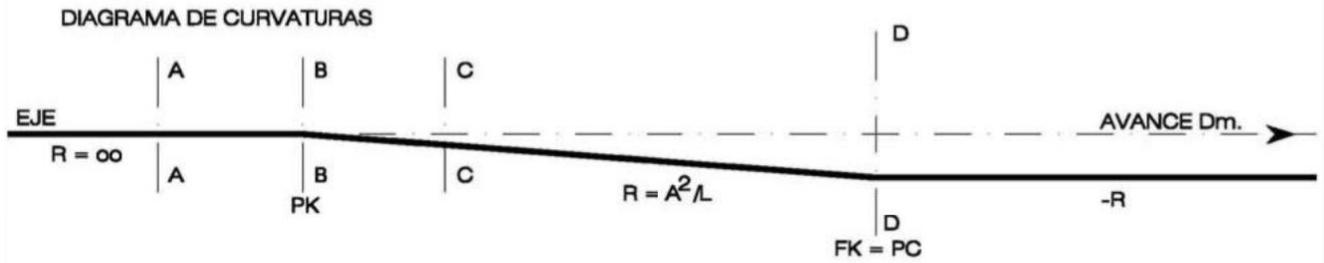


DIAGRAMA DE PERALTES



$\Delta \text{ mfn.} = 0.35\% \text{ para toda } V_p.$



SECCIONES DE TRANSVERSALES

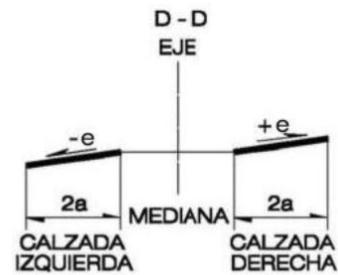
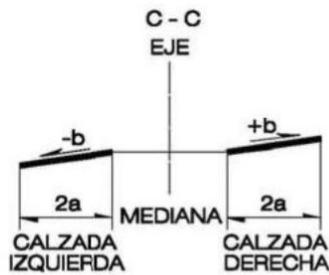
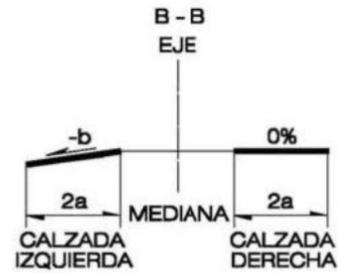
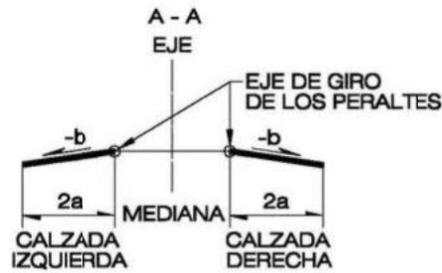
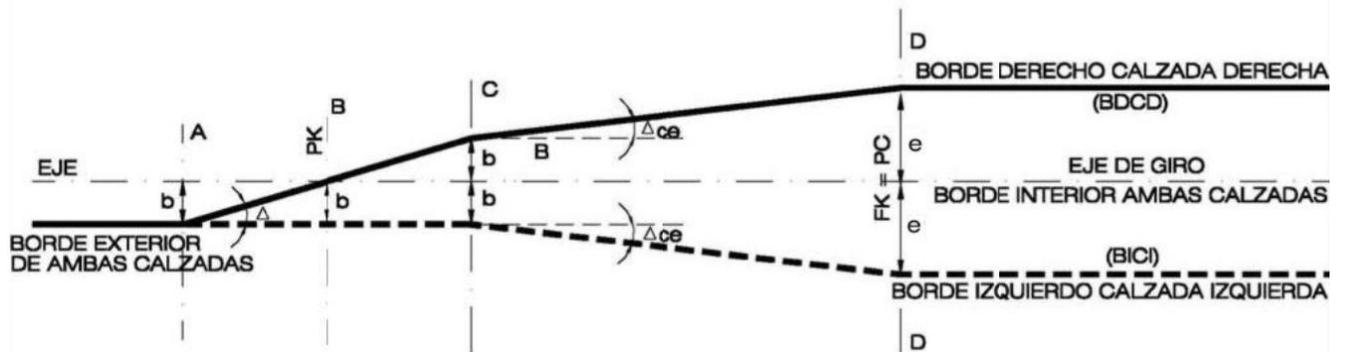


DIAGRAMA DE PERALTES

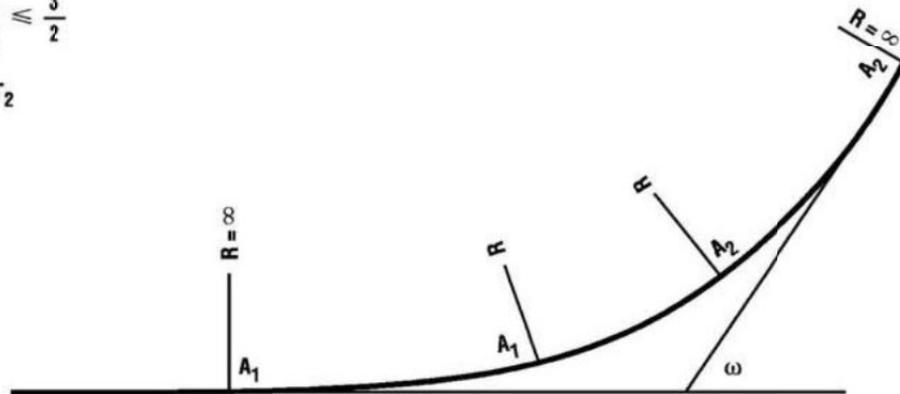


Δ mín. = 0.35% para toda V_p .

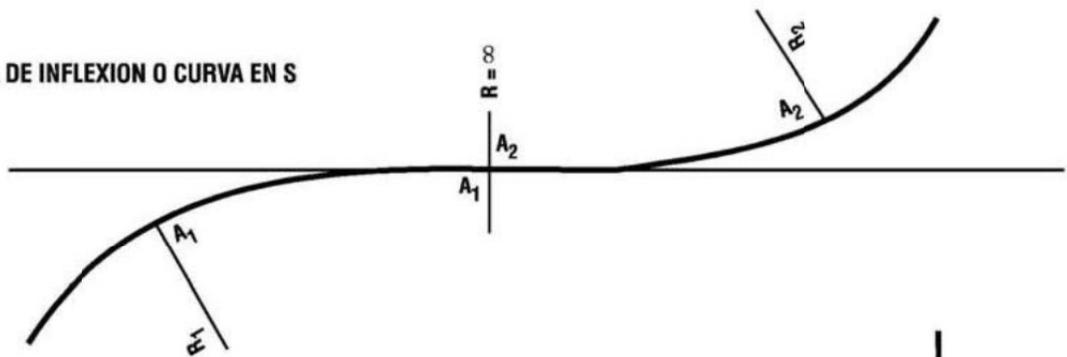
a) CURVA CIRCULAR CON CURVA DE ENLACE

$$\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$$

$$\omega > \tau_1 + \tau_2$$



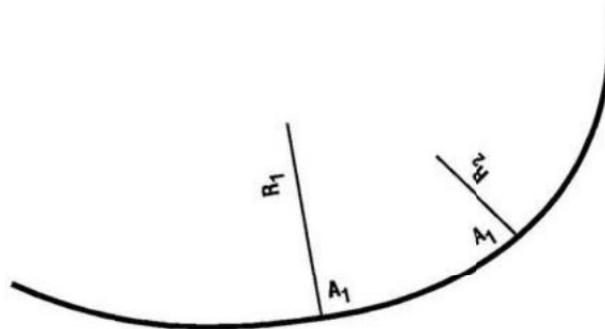
b) CURVA DE INFLEXION O CURVA EN S



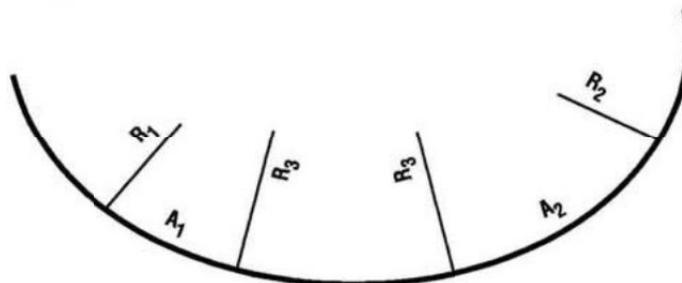
c) OVOIDE

$$R_1 > R_2$$

$$\frac{R_1}{3} \leq A_1 \leq R_2$$



d) OVOIDE DOBLE

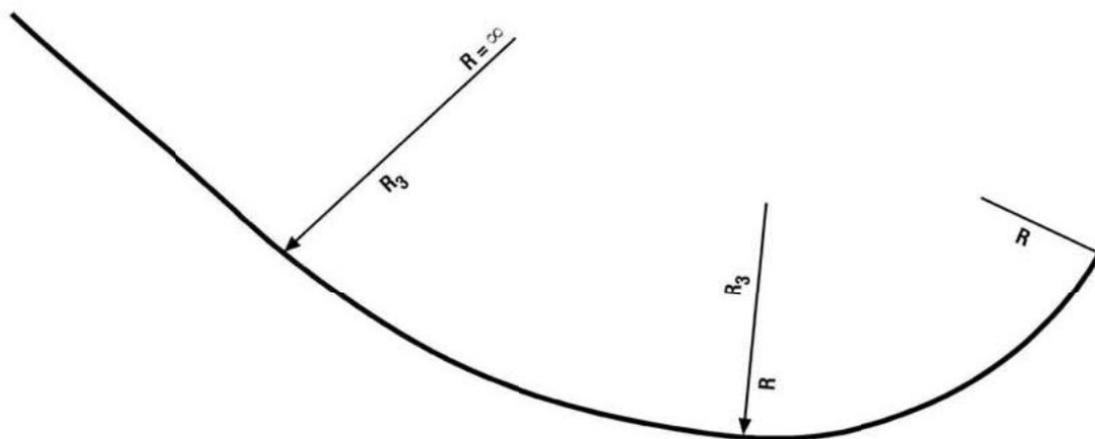


$$\frac{R_3}{3} \leq A_1 \leq R_1$$

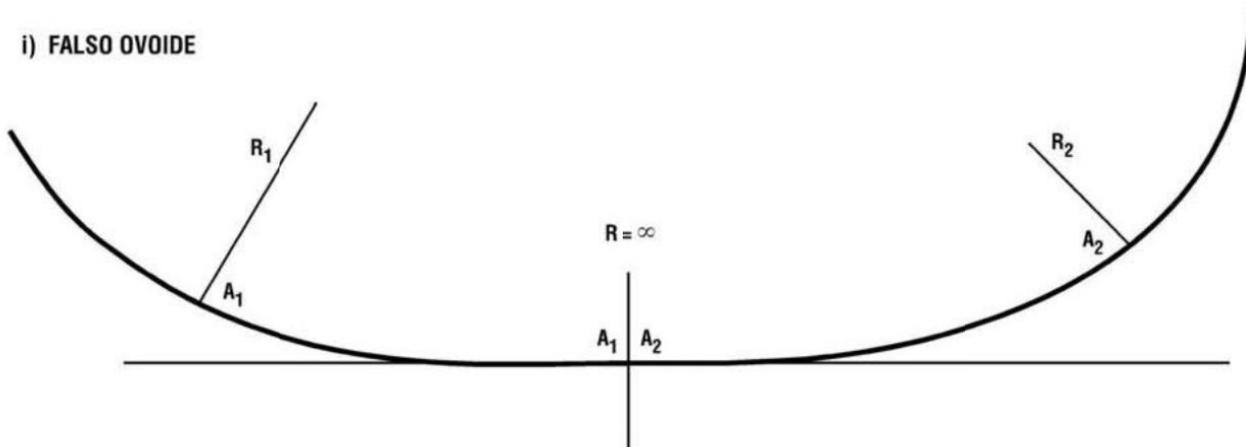
$$\frac{R_3}{3} \leq A_2 \leq R_2$$

$$\frac{2}{3} \leq \frac{A_1}{A_2} \leq \frac{3}{2}$$

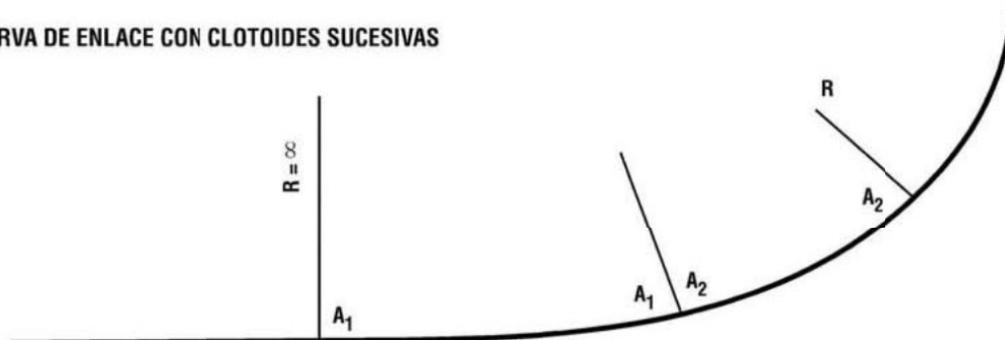
h) REEMPLAZO DE LA CLOTOIDE DE ENLACE POR UN CIRCULO



i) FALSO OVOIDE



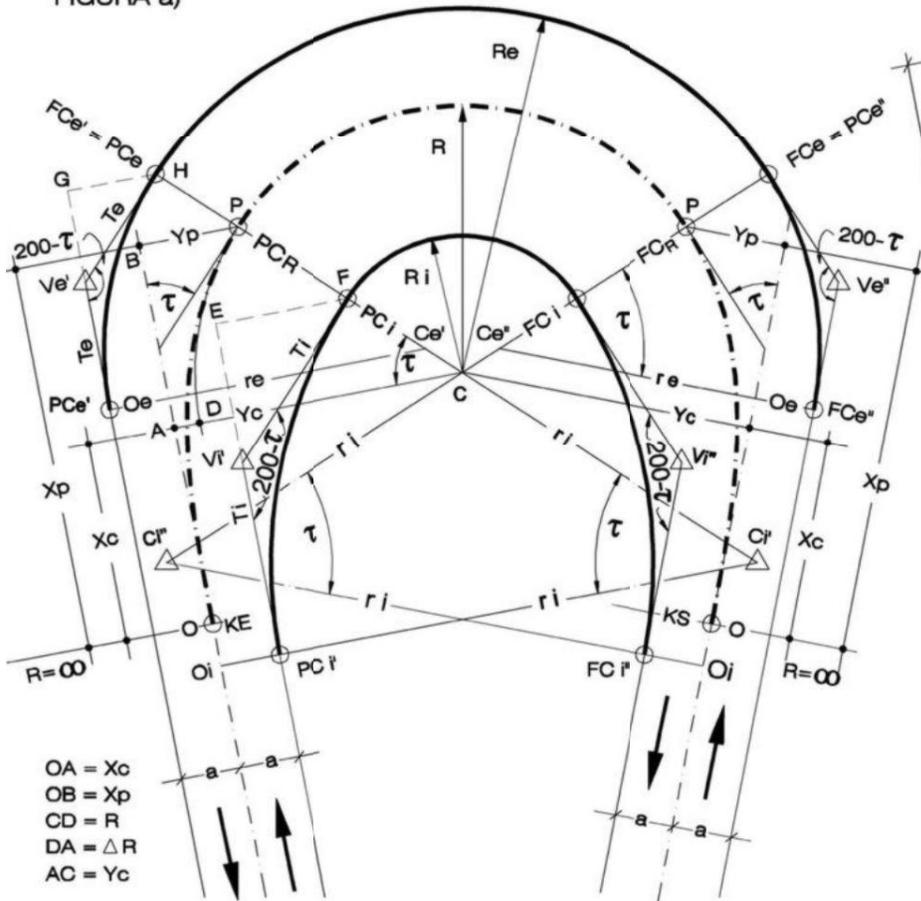
j) CURVA DE ENLACE CON CLOTOIDES SUCESIVAS



CONFIGURACIONES:

BORDE INTERIOR CALZADA - CURVA TRES CENTROS $r_i - R_i - r_i$
 EJE DE CALZADA - CLOTOIDE - R - CLOTOIDE
 BORDE EXTERIOR CALZADA - CURVA TRES CENTROS $r_e - R_e - r_e$

FIGURA a)



OA = Xc
 OB = Xp
 CD = R
 DA = Δ R
 AC = Yc

EF = Yc - a - Ri cos τ ; Ti = EF / sen τ ; ri = Ti / tg (τ / 2)
 GH = Yc + a - Re cos τ ; Te = GH / sen τ ; re = Te / tg (τ / 2)
 OO_i = Xp - (R - Ri) sen τ - Ti (1 + cos τ)
 OO_e = Xp + (Re - R) sen τ - Te (1 + cos τ)

VER TABLA 2.3-17 para valores de Xc, Yc, Xp, Yp, Δ R, Ti, Te, OO_i, OO_e...etc.

NOTAS:

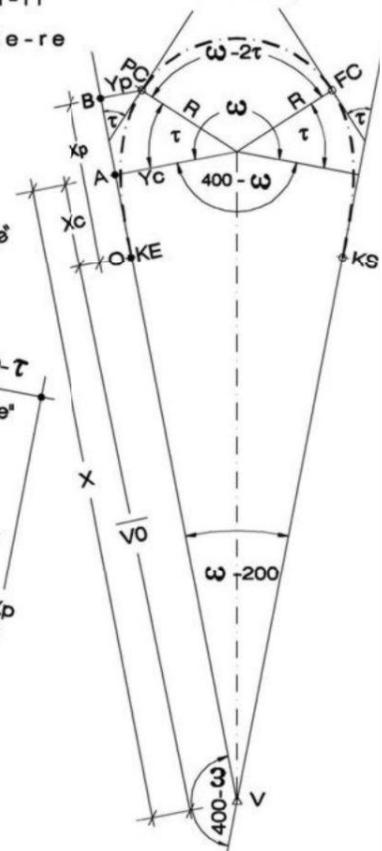
- LAS CURVAS SON SIMETRICAS RESPECTO DE LA BISCTRIZ DE ω
- LOS ARCOS: PC_i' - PC_i; KE - PCR; PC_e' - PC_e; etc., NO SE MODIFICAN CON LOS CAMBIOS DE ω
- SALVO LA DISTANCIA V₀ TODOS LOS DEMAS ELEMENTOS DE LA CLOTOIDE SE CALCULAN MEDIANTE LAS EXPRESIONES QUE SE INDICAN EN LA FIGURA 2.3-10

PARAMETROS GEOMETRICOS DE CURVAS DE RETORNO SEGÚN RADIO RI

TIPO DE VIA MANIOBRA POSIBLE	RADIO CURVAS CENTRAL			CLOTOIDE DEL EJE			CURVAS DE BORDE		ANCHO MAX. PISTAS		ANCHO MAX CALZ.	SOBRE ANCHO
	R _i	R	R _e	A	L	τ	r _i	r _e	INT.	EXT.		
CARRET. Y COLECTORES	8	15,50	20,65	16,2	16,932	34,771	40,730	14,545	7,50	5,15	12,65	5,65
Calz. En Recta 7 m	10	17,00	22,00	17,5	18,015	33,731	41,264	16,800	7,00	5,00	12,00	5,00
Diseño Para:	15	21,10	25,85	20,0	18,957	28,599	48,308	20,357	6,10	4,75	10,85	3,85
2 Buses Lt = 13,2 m ó 14,0m.	20	25,55	30,10	22,6	19,991	24,905	55,709	24,781	5,55	4,55	10,10	3,10
1 SR Lt = 18,6 m												
1 SR Lt = 22,4 m	Ocupando toda la calzada para R _i = 8,0m											
LOCALES, Y DESARROLLO	6	9,75	13,10	9,90	10,052	32,818	15,064	13,702	3,75	3,35	7,10	1,10
Calz. En Recta 6 m	7	10,65	14,00	10,5	10,352	30,941	16,204	14,570	3,65	3,35	7,00	1,00
Diseño para:	8	11,55	14,85	11,3	11,055	30,468	16,785	16,068	3,55	3,30	6,85	0,85
2 Veh. Livianos	10	13,45	16,70	12,7	11,992	28,380	19,125	18,667	3,45	3,25	6,70	0,70
1 Bus Rural Lt = 12 m	12	15,35	18,35	14,0	12,768	26,478	21,264	23,511	3,35	3,00	6,35	0,35

Si existen Semitrailer en el flujo ensanchar calzada a 7,0m antes de la CR y usar Solución para Carreteras y Colectores

FIGURA b)



$$X = Yc / \text{tg} \left(\frac{\omega - 200}{2} \right)$$

$$\bar{V}_0 = X - Xc$$

Si:
 ω > 200 C. Retorno
 ω < 200 C. Normal
 ω - 2τ > 0 ; Dc = 0
 ω - 2τ > 0 ; Dc = $\frac{R(\omega - 2\tau)}{63,662}$
 ω - 2τ < 0 ; No hay Solución

3.2.6. TRAZADO EN ALINEAMIENTO VERTICAL

3.2.6.1. ASPECTOS GENERALES

Las cotas del eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

Para fines de proyecto, el sentido de las pendientes se define según el avance de la distancia acumulada (D_m), siendo positivas aquéllas que implican un aumento de cota y negativas las que producen una pérdida de cota.

Las curvas verticales de acuerdo entre dos pendientes sucesivas permiten lograr una transición paulatina entre pendientes de distinta magnitud y/o sentido, eliminando el quiebre de la rasante. El adecuado diseño de ellas asegura las distancias de visibilidad requeridas por el proyecto. En todo punto de la carretera debe existir por lo menos la Visibilidad de Frenado que corresponda a la V^* del tramo, según lo establecido en Tópico 2.2.2.

El trazado en el alineamiento vertical está controlado principalmente por la:

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

El sistema de cotas del proyecto se referirá en lo posible al nivel medio del mar, para lo cual se enlazarán los puntos de referencia del estudio con los pilares de nivelación del Instituto Geográfico Militar.

3.2.6.2. UBICACIÓN DE LA RASANTE RESPECTO DEL PERFIL TRANSVERSAL

La superficie vertical que contiene la rasante coincidirá con el eje en planta de la carretera o camino.

Cuando el proyecto considera calzada única, en la mayoría de los casos, el eje en planta será eje de simetría de la calzada. En carreteras unidireccionales con cantero central de hasta 13 m, el eje en planta normalmente se localizan en el centro de la cantero central y la rasante de dicho eje se proyectará al borde interior de los pavimentos de cada calzada.

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes pueden ser necesarias dos rasantes, cada una de ellas asociada al respectivo eje en planta, o al borde izquierdo de los pavimentos, según el sentido de circulación en cada una de ellas.

3.2.6.3. INCLINACIÓN DE LAS RASANTES

Pendientes máximas

La Tabla 2.4-1 establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

TABLA 2.4-1 PENDIENTES MÁXIMAS ADMISIBLES %

CATEGORIA	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	45	-	-	
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	45	-	-	
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	45	-	4	

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.

Longitud en pendiente y Velocidad de Operación

Pendientes de hasta 6%, afectan sólo marginalmente la Velocidad de Operación de la gran mayoría de los automóviles, cualquiera que sea la longitud de la pendiente.

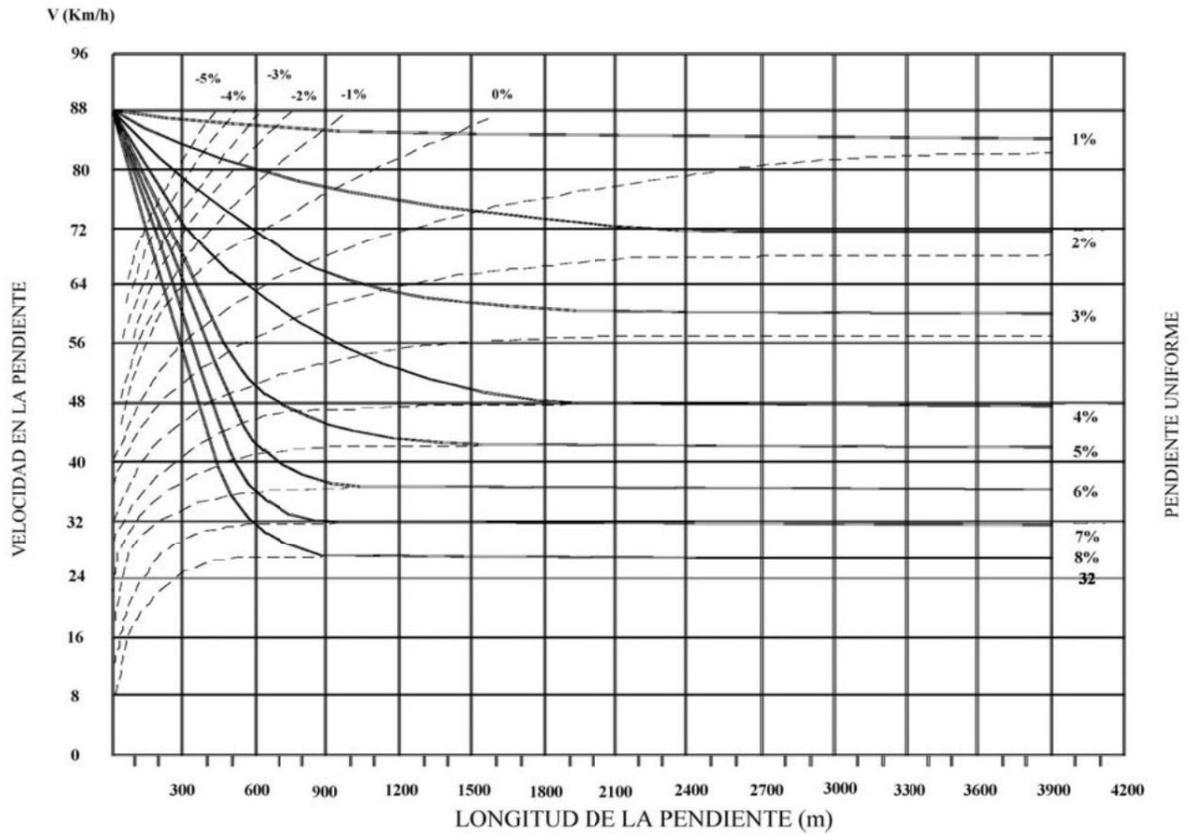
En el caso de los camiones, sobre un 3% causan reducciones significativas de la Velocidad de Operación, a medida que la longitud en pendiente aumenta; esto afecta la Velocidad de Operación de los automóviles, en especial en caminos bidireccionales con alta densidad de tránsito.

Las figuras de la Tabla 2.4-1 ilustran el efecto de las pendientes uniformes de subida, de longitudes crecientes, sobre la Velocidad de Operación de los camiones que circulan en caminos pavimentados.

La figura a) muestra la caída de velocidad para un camión tipo semitrailer o con acoplado, cargado, cuya relación peso/potencia sea del orden de $90 \text{ kgf/cv} \approx 122 \text{ kgf/kw}^*$. Se considera que la rasante de aproximación a la pendiente es prácticamente horizontal y la velocidad al comienzo de la pendiente de 88 km/h . La zona horizontal de las curvas del gráfico indica la velocidad de régimen del camión, la que no puede ser superada en tanto no disminuya la pendiente.

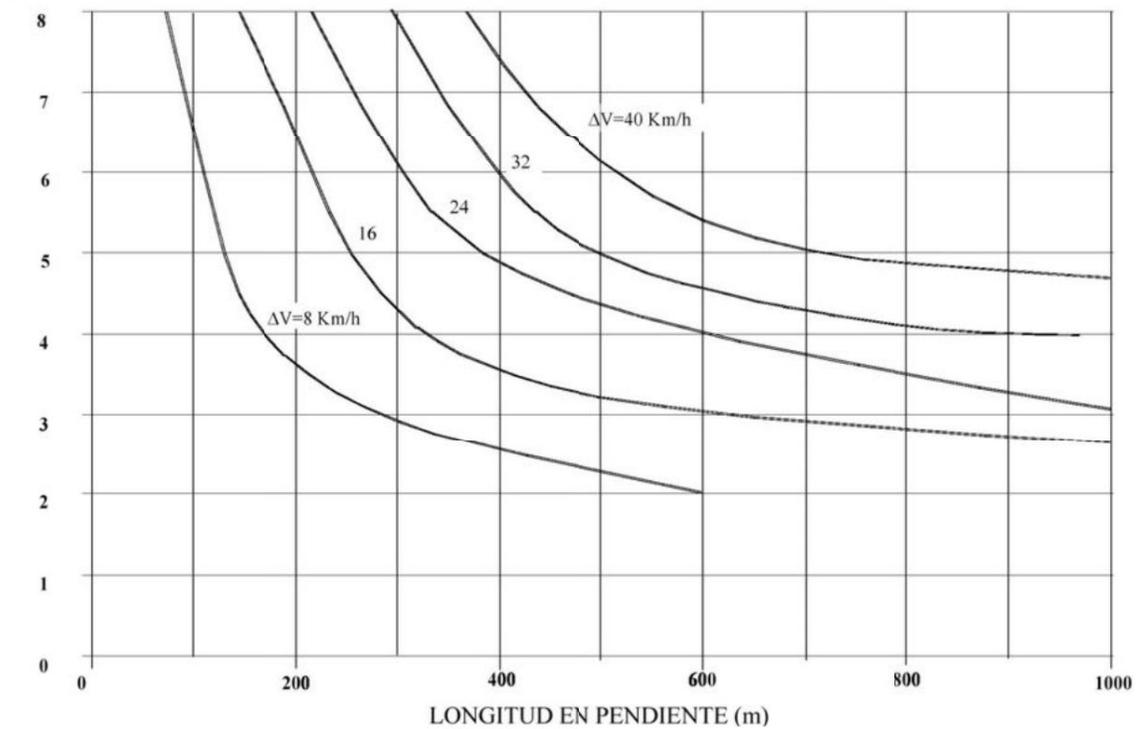
La figura b) ilustra el concepto de Longitud Crítica en Pendiente, es decir, la combinación de magnitud y longitud de pendiente que causa un descenso en la Velocidad de Operación del camión de "X" km/h.

a) VELOCIDAD DE OPERACION VERSUS LONGITUD EN PENDIENTE (1)

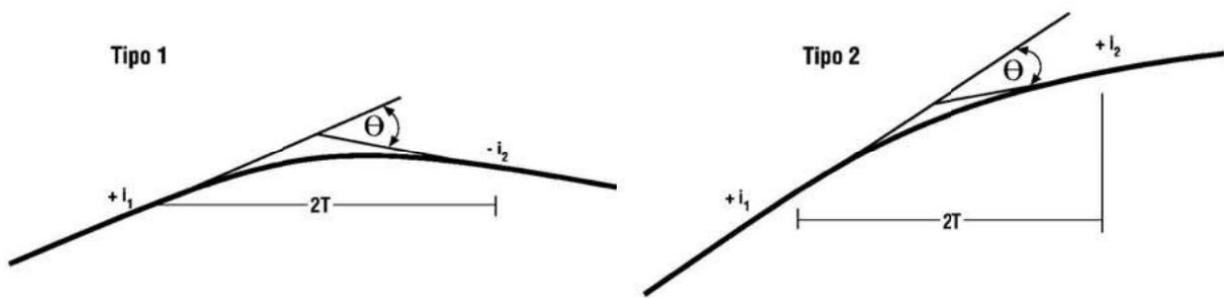


(1) Highway Capacity Manual - Special Report N° 209, 1997
 Camión Tipo - Relación Peso/Potencia 90 kgf / cv \approx 122 kgf / kW

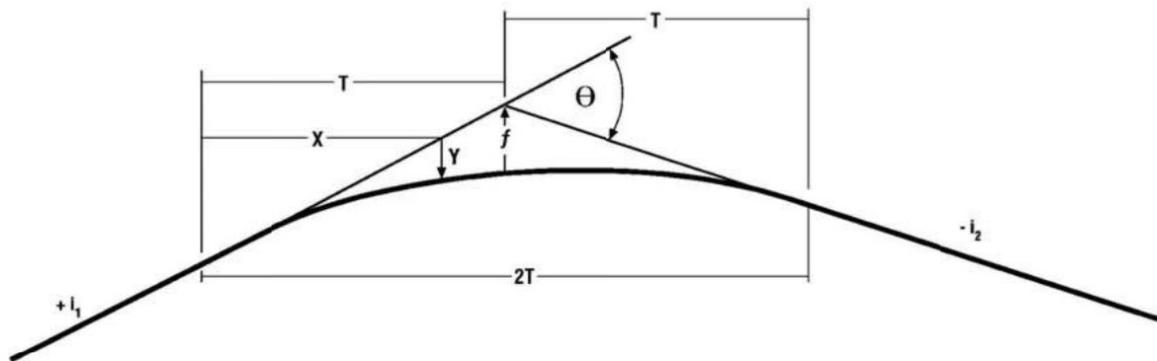
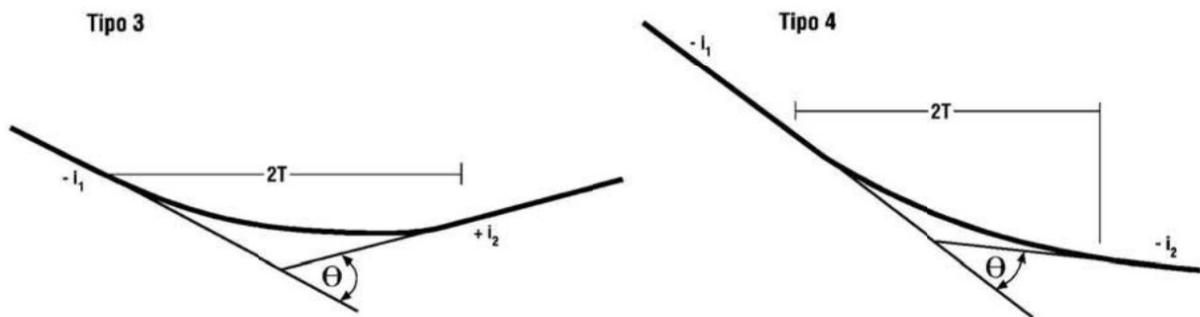
b) LONGITUD CRITICA EN PENDIENTE



CURVAS VERTICALES CONVEXAS



CURVAS VERTICALES CONCAVAS



$$\theta = |i_1 - i_2|$$

$$2T = K \cdot \theta$$

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

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

i_1 e i_2
Con su signo y
Expresado en por uno

3.3. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

3.3.1. PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- ❖ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
- ❖ Ser resistente ante los agentes de intemperismo
- ❖ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ❖ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ❖ Debe ser durable
- ❖ Debe ser económico
- ❖ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.

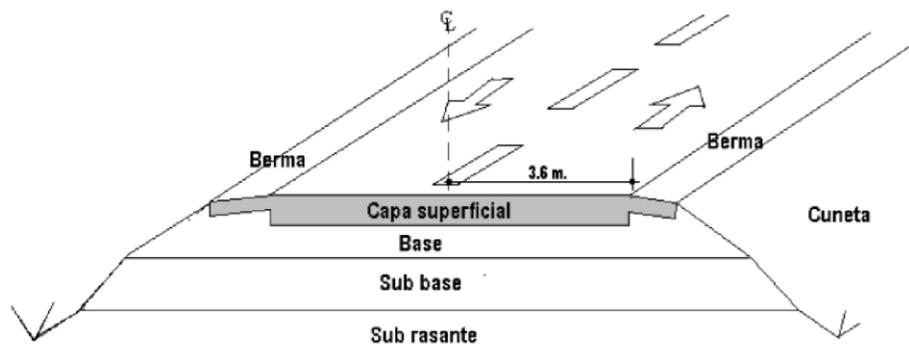
- ❖ Deber poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

3.3.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, semirrígido, rígidos y articulados.

Pavimentos flexibles: Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

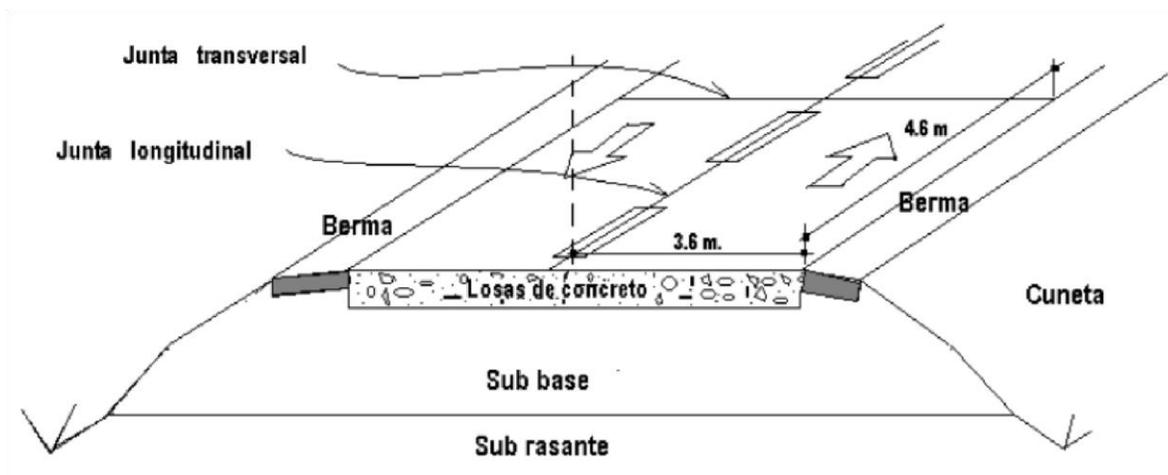
Figura 3. Estructura típica de un pavimento asfáltico (flexible)



Pavimento semirrígido: Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

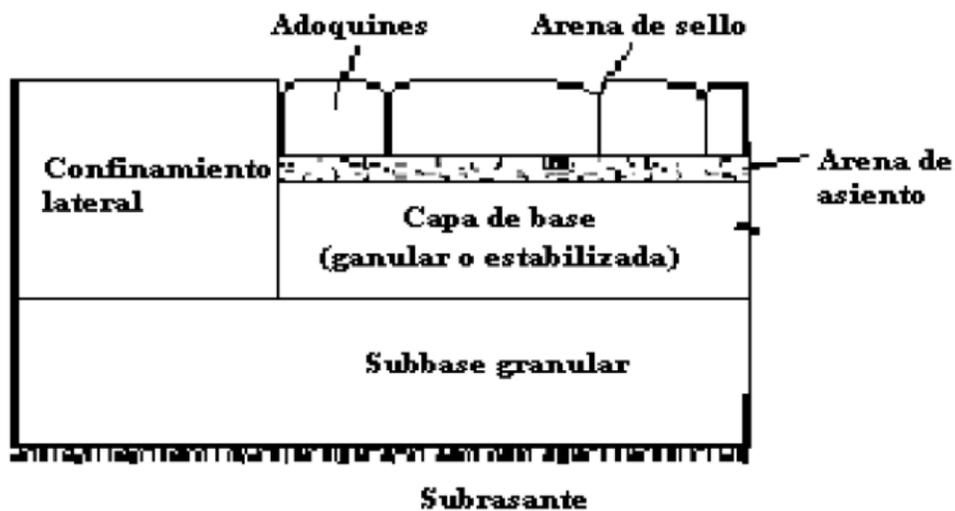
Pavimento rígido: son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Figura 4. Estructura típica de un pavimento rígido



Pavimento articulado: los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

Figura 5. Estructura típica de un pavimento articulado



Funciones de las capas de un pavimento flexible:

✦ **Subbase granular**

1	Capa de transición: la subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
2	Disminución de la deformación: algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
3	Resistencia: la subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.

✦ Base granular

1	Resistencia: la función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
---	--

✦ Carpeta Asfáltica

1	Superficie de rodadura: la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
2	Resistencia: su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.
3	Impermeabilidad: hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Funciones de las capas de un pavimento rígido.

✦ Subbase

- ◆ La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de materiales fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- ◆ Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.

- ◆ Facilitar los trabajos de pavimento
- ◆ Mejorar el drenaje y reducción por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- ◆ Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.

✦ **Losa de concreto**

- ◆ Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

Funciones de las capas de un pavimento articulado.

✦ **Base**

- ◆ Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o más capas de material seleccionado.
- ◆ Capa de arena: es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.
- ◆ Sellos de arena: está constituido por aren fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuyen al funcionamiento, como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.

Factores a considerar en el diseño de pavimentos

- ◆ El transito: interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado.

La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc.

- ◆ La subrasante: de la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medios los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.
- ◆ El clima: los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

3.3.2. DISEÑO MARSHALL

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor.

El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5"). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método

Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60°C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

3.3.3. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA)

El procedimiento de diseño de la PCA está basado en información obtenida de diferentes fuentes, incluyendo investigaciones, desarrollos teóricos, ensayos de pavimentos a escala real, y el monitoreo de la performance de pavimentos en servicio. Un programa de investigación llevado a cabo por la Portland Cement Association correlacionó la información de diseño de estas fuentes obteniendo como resultado un procedimiento desarrollado únicamente para pavimentos suelo cemento.

Bases para el Procedimiento de Diseño de Espesores

Desde 1935 más de 140,000 km de pavimentos suelo-cemento han sido construidos en Norteamérica. La performance demostrada por estos pavimentos a través de los años provee una valiosa información para el diseño, para los niveles de espesor que fueron utilizados. La mayoría de estos pavimentos en servicio son de 15 cm de espesor. Este espesor ha probado ser satisfactorio para las condiciones de servicio de caminos secundarios, calles residenciales y pistas de aterrizaje de tráfico ligero. Algunos pavimentos de 10 cm y 12.5 cm han sido construidos y han dado un buen servicio bajo condiciones favorables de tráfico ligero y fuerte resistencia del suelo. Muchos kilómetros de pavimentos de 17.5 cm y 20 cm de espesor están en servicio en caminos principales y vías secundarias de alto tráfico. Pavimentos con suelo cemento con espesores de 22.5 cm o mas no son numerosos, aunque algunos proyectos de aeropuertos han sido construidos con espesores de hasta 40 cm. En carreteras interestatales en algunas áreas de tráfico comparativamente más bajos, un amplio rango de espesores de suelo cemento, de 10 a 30 cm, han sido incorporados en la estructura total de los pavimentos. Se ha obtenido también información valiosa de diseño de ensayos de caminos a escala real y de investigaciones de laboratorio conducidas por universidades, departamentos de carreteras, y por la Portland Cement Association.

Propiedades Estructurales Básicas

Las propiedades estructurales del suelo-cemento dependen del tipo de suelo, condiciones de curado, y edad. Los rangos típicos para una amplia variedad de tipos de suelo-cemento, a sus respectivos contenidos de cemento requeridos para durabilidad, son:

Tabla 4. Propiedades estructurales Básicas

PROPIEDAD	VALORES A 28 DÍAS
Resistencia a la compresión, saturada	400 - 900 psi
Módulo de ruptura	80 - 180 psi
Módulo de elasticidad (módulo estático a la flexión)	600,000 - 2'000,000 psi
Relación de Poisson	0.12 – 0.14 ¹
Radio de curvatura crítico ² , en viga de 6 x 6 x 30 pulg	4,000 – 7,500 pulg.

3.3.4. DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA

3.3.4.1. INTRODUCCIÓN

La longitud total de la carretera diseñada es de 3,987.46 km., con un ancho de 3.65 m. por carril y 0.5 m. de berma a cada lado.

3.3.4.1.1. Factores de diseño

Los factores más importantes para el diseño de las capas de un pavimento son los 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, Materiales y Tráfico, obteniendo los datos necesarios para el diseño del pavimento.

3.3.4.1.2. Metodología

Para el tipo de pavimento a elegir se consideraron 3 alternativas:

I. Pavimento Flexible : Concreto Asfáltico

Consiste en el uso de una capa de rodadura de concreto asfáltico con un período de vida útil de 15 años (2013 a 2027).

II. Pavimento flexible : Tratamiento Superficial Doble

Consiste en el uso de un Tratamiento Superficial Doble con una vida útil de 7 años (2013-2019).

III. Pavimento flexible : Tratamiento Superficial Triple

Consiste en el uso de un Tratamiento Superficial Triple con una vida útil de 7 años (2013-2019).

Determinadas las 3 alternativas, se procederá a su evaluación por medio de un análisis de costos, para luego determinar la mejor alternativa.

3.3.4.1.3. Darwin

Para el diseño del pavimento, rehabilitaciones y análisis de costos se utilizó el programa Análisis® 3.1.

En términos simples Análisis (Design, Análisis, and Rehabilitation for Windows) es una versión computarizada de los modelos de diseño de pavimentos presentado en la publicación Guide for the Design of Pavement Structures escrita por la AASHTO.

3.3.4.2. SERVICIABILIDAD

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)

3.3.4.2.1. 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*: **$po = 4.2$**

3.3.4.2.2. 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 **$pt = 2.5$** .

3.3.4.3. CONFIABILIDAD

La Confiabilidad de un proceso de diseño de un pavimento es la probabilidad de que una sección diseñada 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

3.3.4.3.1. 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 Rural Arterial el rango es de 75-95, se adoptará un **$R = 85\%$** .

3.3.4.3.2. Desviación estándar

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. Por la ausencia de valores locales, la AASHTO recomienda los siguientes:

- *Pavimentos Flexibles*: $S_o = 0.49$

3.3.4.4. CONDICIONES AMBIENTALES

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

Se considera un drenaje regular, en base a las precipitaciones un 20% del tiempo los niveles de humedad están cercanos a la saturación. Las precipitaciones significativas ocurren en ciertos meses del año, desde noviembre a abril.

Las temperaturas de la zona son cálidas con una media de 20 °C, existen temperaturas mínimas extremas de hasta -1°C en invierno, pero debido a que son por corto tiempo y ocurren en la época de estiaje, no se presentarán problemas de congelamiento y derretimiento. Se presentan temperaturas máximas de 37°C, por tanto se debe tener cuidado con el tipo de asfalto a usarse.

3.3.4.5. PROPIEDADES DE LA SUB RASANTE

Se tiene que el 67% de los suelos son materiales de tipo A-4, dichos materiales son limos arcillosos poco plásticos. Otro problema es que el CBR de dichos suelos es muy pequeño, por tanto se deberán utilizar espesores mayores de capas base y subbase.

La propiedad que se usa para caracterizar la Subrasante es el Módulo Resiliente (M_r). Este valor es una medida de la elasticidad del suelo reconociendo características no lineales. 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 de valor soporte California C.B.R. ya que el equipo necesario para obtener el Mr es costoso y no disponible.

La AASHTO proporciona la Ecuación 5.6.1 para correlacionar valores de CBR menores a 10%.

$$Mr = 1500 \times CBR [psi]$$

$$Para : CBR \leq 10\%$$

3.3.4.5.1. CBR de diseño

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. Para encontrar el valor del CBR de diseño, se siguen los siguientes pasos:

1. Se clasifican los datos CBR de los pozos por tramos.
2. Se ordenan los datos y se obtiene el percentil 15. Dicho valor es el CBR de proyecto para cada tramo. Significa que el 85% de los valores del tramo son mayores o iguales al CBR de diseño.

Tabla 3.17

C.B.R. DE LAS MUESTRAS DEL PROYECTO

Muestra Nº	Ubicación	Clasificación	C.B.R.	Módulo Resiliente (KPa)
1	Entrada del camino	A-4	3.80%	38517.6
2	Pampa la Villa Chica	A-4	15.80%	71817.1
3	Pampa la Villa Chica	A-4	13.10%	55402.51
4	Ancón Chico	A-4	7.40%	39952.71

Tomamos el menor valor para evitar el sobre dimensionamientos

CBR diseño =	3.80%
---------------------	-------

Después de los ensayos realizados en el laboratorio del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA) de las muestras representativas del tramo y la clasificación de las mismas (A-4) es un suelo fino limoso no apto para fundar una carretera, por lo tanto se debe mejorar la rasante con material granular del banco de préstamo cercano al tramo ubicado en el río Guadalquivir.

Se realizó el ensayo del Desgaste de los Ángeles al material del banco de préstamo, dando un resultado satisfactorio para el mejoramiento de la rasante.

$$\text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100 = 24,84\%$$

3.3.4.6. MATERIALES DE CONSTRUCCION

Los materiales de construcción pueden dividirse en dos categorías, los necesarios para Pavimentos Flexibles y para Pavimentos Rígidos.

3.3.4.6.1. Pavimentos flexibles

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

a) Subrasante Mejorada

La subrasante mejorada es la capa de suelo natural o de préstamo cuando se necesita. Es la fundación del pavimento.

b) Subbase

La subbase es la porción del pavimento entre la base y la subrasante. Consiste de material granular de canto rodado seleccionado. Para el uso en el período de diseño la capa subbase debe ser representada por un coeficiente de capa (a3).

La función principal de esta capa es la economía, sirve también como elemento estructural y protege a la capa base de la intrusión de grano fino.

c) Base

La base es la capa entre la subbase y la capa de rodadura. Construida encima de la subbase. Consiste de agregado triturado. Las especificaciones para la capa base son más estrictas que la de la subbase. Para el método de diseño de la AASHTO la capa base debe ser representada por un coeficiente de capa (a2).

d) Capa de Rodadura

La capa de rodadura de una estructura flexible consiste en una mezcla de agregado mineral con material bituminoso. Está por encima de la capa base. Aparte de su función como capa estructural, debe resistir los esfuerzos abrasivos del tráfico, impermeabilizar, dar fricción, y proveer una superficie suave, segura y confortable para el viaje. Para el uso en el período de diseño la carpeta de rodadura debe ser representada por un coeficiente de capa (a1).

3.3.4.7. BERMAS

Las bermas son áreas laterales de la carretera, continua a la calzada para estacionamiento de vehículos parados, y para soporte lateral de la base y subbase.

Para la construcción de las bermas, tanto para flexibles como rígidos, se planea el uso de bases granulares con un tratamiento superficial simple.

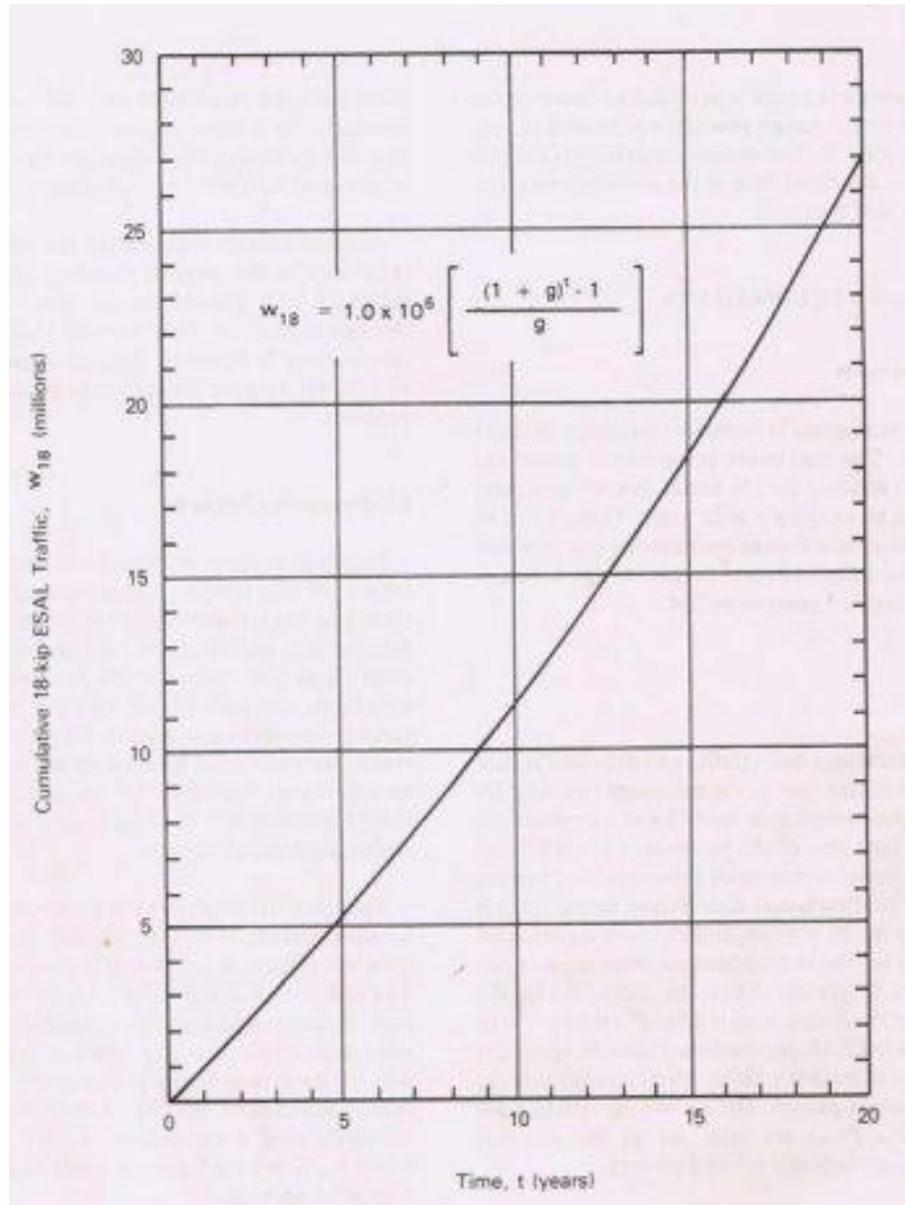
3.3.4.8. DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE (MÉTODO AASHTO'97)

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:

- ESALs
- Serviciabilidad inicial y terminal
- Nivel de confiabilidad y desviación estándar
- Módulo Resiliente

Pronosticar la cantidad de repeticiones del eje equivalente de 18 kips esperados al final del periodo de diseño, $W_{18} = ESAL$:

$$ESAL = W_{18} = w_{18} \left[\frac{(1+g)^t - 1}{g} \right]$$



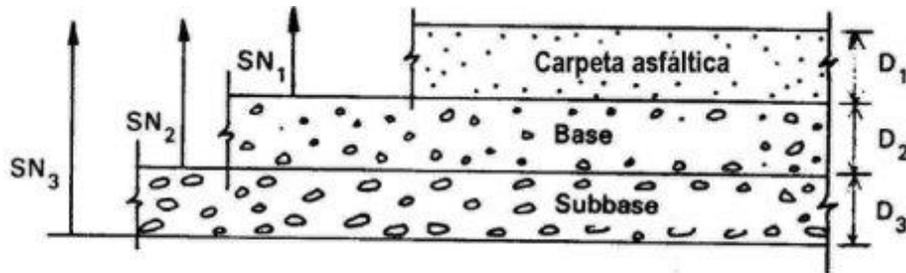
Resolver la ecuación de diseño para SN. Esto nos proporcionará el SN calculado

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} M_R - 8,07$$

Comparar el SN (asumido), el que utilizó para determinar los factores de equivalencia, con el SN(calculado):

- Si la diferencia es menor a 1, entonces pase al punto 4.
- Si la diferencia es mayor a 1, entonces proceda iterativamente hasta lograr que SN (calculado) = SN (asumido).

Utilice el procedimiento de la Figura para determinar los espesores requeridos de acuerdo al SN encontrado.



$$D^*_1 > \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 > \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 > \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

Para determinar el espesor de la carpeta asfáltica D1 se asume que toda la resistencia, para soportar las repeticiones pronosticadas, la brinda la carpeta asfáltica.

Se resuelve la ecuación de diseño colocando en lugar del MR de la terracería, el valor del EBS obtenido por ensayo directo o por correlación con una prueba de resistencia como el CBR. Al resolver la ecuación de diseño se obtiene un $SN = SN_1$

$$SN_1 = a_1 D_1$$

$$D_1^* \geq SN_1 / a_1$$

Se redondea el valor de D1 a un entero de pulgada o media pulgada. Este será el valor D1*

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9,36 \log_{10}(SN_1 + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN_1 + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} E_{BS} - 8,07$$

1. Conversión de “SN” a espesores de capa

Obtenido el SN, debe ser convertido a espesores reales de las diferentes capas. Según la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + \dots a_n d_n m_n$$

donde:

SN = Número Estructural

ai = Coeficiente Estructural de la capa i

di = Espesor de la Capa i

mi = Coeficiente de Drenaje de la capa i

Para encontrar los espesores iniciales, se deben asumir sobre la base de las condiciones de la zona y del material, los coeficientes de drenaje y estructurales de cada capa.

Tabla 3.18***Coefficientes de Drenaje y Estructurales de las Capas***

Material	CBR	ai	mi
Carpeta Asfáltica	-	0.44	1.00
Tratamiento S. Triple	-	0.3	1.00
Tratamiento S. Doble	-	0.2	1.00
Base Granular Triturada	80%	0.14	1.00
Subbase Granular	30%	0.11	1.00

Fuente: AASHTO Design Guide, Part I, Section 1.8. Part II, Section 2.3. Part II, Section 2.4

2. Resultados del diseño de pavimento flexible***CÁLCULO DE ESPESORES***

Se los realizó por ordenador y los resultados están reflejados en el Anexo VIII

A continuación un resumen de espesores calculados:

- **Alternativa I.- Construcción Inicial con concreto asfáltico.**

Tabla 3.19***Espesores de las capas para la Calzada; (CA)***

Periodo	Capa	Ancon Chico - Pampa la Villa Chica
2013-2027	Concreto Asfáltico	5.0 cm
	Base Triturada	17.0 cm
	Subbase Granular	39.0 cm

- **Alternativa II.- Construcción Inicial con tratamiento superficial doble.**

Tabla 3.20

Espesores de las capas para la Calzada; (TSD)

Periodo	Capa	Ancon Chico - Pampa la Villa Chica
2013-2019	Tratamiento Sup. Doble	2.5 cm
	Base Triturada	15.0 cm
	Subbase Granular	47.0 cm

- **Alternativa III.- Construcción Inicial con tratamiento superficial triple.**

Tabla 3.21

Espesores de las capas para la Calzada; (TST)

Periodo	Capa	Ancon Chico - Pampa la Villa Chica
2013-2019	Tratamiento Sup. Triple	3.5 cm
	Base Triturada	15.0 cm
	Subbase Granular	45.0 cm

Una vez realizado el mejoramiento de la Sub rasante se procedió al nuevo cálculo de espesores dando como resultado los siguientes:

Tabla 3.22

Espesores de las capas para la Calzada; (TST)

Periodo	Capa	Ancón Chico - Pampa la Villa Chica
2013-2019	Tratamiento Sup. Simple	2.5 cm
	Base Triturada	25.0 cm
	Subbase Granular	30.0 cm

3.3.4.9. EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Para elegir entre las 3 alternativas planteadas se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) **Tránsito.** Como se puede ver el tráfico es muy variable en los tramos considerados. En el tramo 1 se presentan valores de ESALs mayores que los de otros tramos secundarios, por tanto se puede considerar el uso de las alternativas II y III, cuyos diseños son empleados cuando se trata de tráficos vehiculares bajos.
- b) **Subrasante.** La subrasante no es buena en el tramo 1. Las condiciones de la subrasante afectan los diseños de pavimentos flexibles de mayor manera que en pavimentos rígidos, pero por el bajo tráfico las alternativas II y III podrían ser las más adecuadas para el tramo.
- c) **Consideraciones Constructivas.** Se debe tener en cuenta la velocidad de construcción, el acomodamiento y seguridad del tráfico durante la etapa constructiva, la posibilidad de futuros ensanches, las estaciones del año durante las cuales se ejecutará la obra, y otros factores que pueden influir marcadamente en la selección del tipo de pavimento a construir.
- d) **Comparación de Costos.** Inevitablemente, hay circunstancias que obligan a que el factor prioritario sea la inversión inicial. Para tener una visión real del problema, se deben considerar aparte los costos de mantenimiento, y de los usuarios.

Por estas razones los períodos de análisis deben tener una duración suficiente para incluir una reconstrucción representativa, en los diferentes tipos de pavimento.

Además de los factores principales mencionados, se tendrá en cuenta:

- El rendimiento de pavimentos similares en la zona
- Pavimentos existentes y adyacentes
- Consumo de energía y conservación de ciertos materiales

- Utilización de materiales locales
- Lograr mayor seguridad en el tránsito
- Incorporación de tramos experimentales en la zona
- Estimulación en la competitividad de diversos tipos de pavimentos
- Preferencias municipales y de los participantes locales gubernamentales y reconocimiento de la industria local (factores que no pueden ignorarse, aunque ajenos al análisis ingenieril del proyecto)

e) **Según lo indicado**, la mejor alternativa a usarse varía entre la alternativa II y III ya que las dos cumplen técnicamente con la resistencia de cargas de bajo tráfico.

f) **Finalmente** la elección de la alternativa adecuada para cada tramo será realizada en base al análisis de factibilidad económica en el que se tomará en cuenta todo lo mencionado anteriormente.

3.4. DISEÑO DE DRENAJE

3.4.1. INTRODUCCIÓN

La lluvia que cae sobre las cuencas tributarias de la carretera, y el agua que cae sobre la calzada, debe ser adecuadamente conducida cuando estos flujos alcanzan la carretera y por tanto la carretera debe contar de los elementos necesarios para conducirla o desviarla, sin que ocasione ningún daño ni debilitamiento a la estructura de la carretera.

Estos elementos necesarios para conducir o desviar adecuadamente el agua de drenaje se denominan obras de drenaje, las mismas que pueden ser superficiales o subterráneos en algunos casos.

Para el diseño de estas obras es necesario contar con la topografía del sector, la geología, estudios de suelos, la hidrología, etc.

La función de los drenajes superficiales de una carretera es la de facilitar el paso de las aguas de un lado a otro de la vía y lograr la remoción de las aguas que caen sobre la plataforma. Las obras que cumplen esta función son las alcantarillas, los puentes, las zanjas, cunetas y desagües pluviales.

Una alcantarilla es un conducto que lleva agua a través de un terraplén, es un paso a nivel para el agua y el tráfico que pasa sobre ella.

Los puentes cumplen la misma función pero a diferencia de las alcantarillas generalmente forman parte de la calzada de la carretera.

Las zanjas son canales abiertos que sirven para interceptar el agua superficial que proviene de la plataforma y de los taludes cuando existen cortes, se colocan generalmente a los lados de la carretera.

Los canales de desviación o de descarga son canales abiertos que prolongan el flujo de las zanjas para poder descargarlos a cauces naturales fuera de la carretera.

Las zanjas interceptoras o de coronación son canales que se excavan en los taludes de corte en su coronamiento para evitar la erosión de los taludes.

Para conducir las aguas desde un nivel más alto a uno más bajo, ya sea en taludes de corte o de terraplén se usan caídas o torrenteras, que son canales con una fuerte inclinación y casi siempre llevan disipadores de energía.

Para el diseño de las diferentes obras de drenaje se utilizaron los caudales calculados en el capítulo de hidrología, por tanto conociendo la cantidad de agua que llega a cada una de las obras de drenaje se determinó las dimensiones de la estructura necesaria para conducirla.

Para el cálculo de cada una de estas obras se buscó que la obra no represente un peligro para los vehículos que puedan salirse accidentalmente de la carretera, y además que sean estéticamente agradables.

3.4.2. INVENTARIO DE LA RED DE DRENAJE

Para conocer las obras de drenaje que actualmente cuenta la carretera, se realizaron diferentes tareas, las mismas que indicamos a continuación:

- a) Delimitación de tramos de evaluación.
- b) Preparación de la planilla de inventario.
- c) Relevamiento de información en campo.
- d) Procesamiento del relevamiento.
- e) Evaluación de las obras de drenaje existentes.
- f) Puentes
 - Topografía
 - Estudio hidráulico e hidrológico
 - Estudio geotécnico
 - Dimensiones
 - Forma de pilas
 - Material
 - Estado de la obra

Las obras de drenaje transversal de la carretera actual, están generalmente construidas con el siguiente material

- a) Badenes
 - Hormigón ciclópeo en el ancho del cauce
- b) Alcantarillas
 - Tuberías de concreto de diámetros entre 0.8 y 1.2 m
- c) Puentes
 - Estribos de hormigón ciclópeo y armados.
 - Plataforma de rodadura pavimento.

De acuerdo al relevamiento y diagnóstico realizado a las diferentes obras de drenaje que actualmente tiene el camino ANCON CHICO- PAMPA LA VILLA CHICA se pudo comprobar que en la mayoría de los tramos hacen falta obras de drenaje. Las obras existentes que no funcionan correctamente en el camino actual, es decir que fueron dañadas por que sobrepaso su capacidad de flujo, estando erosionado su terraplén o sufrieron asentamientos en algunos sectores, o la longitud de estas obras además deben tener valores mayores por que el diseño prevé una calzada más amplia que la actual, por tanto deben ser modificadas.

3.4.3. SISTEMA DE DRENAJE

Para el estudio del sistema de drenaje de los diferentes tramos de la carretera se realizaron estudios hidrológicos para estimar los escurrimientos superficiales de las áreas de aporte.

3.4.4. DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

Las obras de drenaje del camino ANCÓN CHICO- PAMPA LA VILLA CHICA fueron diseñados en sus dimensiones hidráulicas mediante los siguientes programas de computadoras como el HEC RAS para las alcantarillas, planillas de EXEL para los canales de drenaje, y posteriormente se verificó las dimensiones de las obras mediante programas estructurales tales como el CYPE CAD 2007.1d MÓDULO MARCOS. Las diferentes obras diseñadas fueron denominadas en función de su progresiva y de acuerdo a las siguientes características: alcantarillas tipo cajón de hormigón armado.

Para el dimensionamiento de las obras de drenaje se partió de una evaluación de cada una de las obras existentes en el camino, tal de poder verificar los parámetros de diseño empleados, fundamentalmente los caudales de diseño que son el parámetro más importante del dimensionamiento de la obra hidráulica, además de los valores de las cotas de desagüe, las cotas de la rasante y las características del material empleado, que en todos los casos fue de hormigón armado.

Nº	DESCRIPCIÓN	PROGRESIVA
1	CANAL PASO CAMINO 1	0+020
2	ALCANTARILLA CAJÓN 1	0+440
3	ALCANTARILLA CAJÓN 2	1+040
4	ALCANTARILLA CAJÓN 3	1+220
5	CANAL PASO CAMINO 2	1+476
6	CANAL PASO CAMINO 3	1+600
7	ALCANTARILLA CAJÓN 4	1+620
8	CANAL PASO CAMINO 4	1+800
9	CANAL PASO CAMINO 5	1+930
10	CANAL PASO CAMINO 6	2+130
11	ALCANTARILLA CAJÓN 5	2+280
12	ALCANTARILLA CAJÓN 6	2+480
13	ALCANTARILLA CAJÓN 7	2+880
14	ALCANTARILLA CAJÓN 8	3+000
15	ALCANTARILLA CAJÓN 9	3+640
16	ALCANTARILLA CAJÓN 10	3+790

TABLA DE RESUMEN DE ALCANTARILLAS

Para las cuencas de drenaje en todos los casos se ha utilizado alcantarillas tipo cajón, en algunos casos se utilizó baterías hasta de tres conductos como máximo, con lo que se cubrió adecuadamente los caudales determinados.

3.5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS

3.5.1. INTRODUCCIÓN

El cálculo estructural de las alcantarillas tipo cajón se realizó siguiendo la metodología necesaria para este tipo de obras, realizando el cálculo para cada dimensión de alcantarilla de acuerdo a las opciones de carga que están solicitadas independientes de su propio peso y mayoradas de acuerdo a coeficientes dados por la norma NB86.

3.5.2. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

Para las alcantarillas correspondientes al tramo: ANCÓN CHICO - PAMPA LA VILLA CHICA, los pre diseños se realizaron tomando en cuenta la metodología utilizada por el programa CYPE CAD 2007.1d módulo MARCOS, basados en el cumplimiento de la norma Boliviana de Hormigón Armado.

Cargas de Diseño

Para los pre diseños se tomaron las siguientes:

- **Peso Propio.-** El peso propio de un puente es la suma de los pesos de sus partes. En la superestructura está formado por las vigas, la losa y los diafragmas, más la sobrecarga permanente que conforman las aceras, los bordillos, los pasamanos, los postes, tuberías, cables y otros servicios. A nivel de la Infraestructura está formado por las fundaciones elevaciones y coronamiento respectivo.
- **Carga Viva.-** La conforman el peso de los vehículos, peatones y otras cargas que permaneces inferior a las 24 horas, en el caso del presente proyecto, se ha utilizado el camión Tipo MS-18, que debe ser tomado como carga única, por cada faja de tráfico, y la carga equivalente que reemplaza al camión tipo una vez que se sobrepasa cierta longitud.

- **Carga de Impacto.-** Se utiliza esta carga para considerar los efectos dinámicos de vibración e impacto.
- **Carga debidas al viento.-** Se considera el viento que actúa en la superestructura, e infraestructura y sobre la carga viva, se toman en consideraciones dos direcciones una paralela al eje del camino y otra perpendicular.
- **Fuerzas de Corriente.-** Para minimizar este empuje se colocan pilas paralelas a la dirección de la corriente y con formas aerodinámicas.
- **Fuerza longitudinal de frenado.-** Es provocada por el frenado brusco de los vehículos y su magnitud está dada por el 5% de la carga viva aplicada en todas las fajas de tráfico y desarrollada en la misma dirección.

Materiales, esfuerzos, resistencias del Hormigón

La resistencia característica a compresión a los 28 Días de los distintos hormigones se enumera a continuación:

- P mayor o igual a: 350 kg/cm²
- A mayor o igual a: 210 kg/cm²
- B mayor o igual a: 180 kg/cm²
- C mayor o igual a: 160 kg/cm²
- D mayor o igual a: 130 kg/cm²

Los aceros de refuerzo o estructurales deben tener un límite de fluencia de 4200 kg/cm²

3.6. PRESUPUESTO GENERAL

En base a las cantidades de obra determinadas mediante los cómputos métricos y al análisis de precios unitarios de cada uno de los ítems que conforman el presupuesto, se ha determinado el presupuesto general correspondiente para la situación actual del proyecto y para propuesta del presente estudio.

3.6.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se determina, a partir del análisis de los precios unitarios de cada una de las actividades que conforman el proyecto, el presupuesto de la construcción actual de las alcantarillas. Así mismo se realizó el presupuesto de la propuesta alternativa mediante el presente estudio de las alcantarillas del tramo en cuestión con el fin de realizar una comparación económica de las mismas.

Para poder lograr un resultado más favorable y establecer un precio referencial óptimo, que satisfaga las exigencias de que establecen los pliegos de condiciones de la construcción del proyecto, es necesario que los análisis de precios unitarios satisfagan lo establecido en dichas especificaciones técnicas como a las disposiciones legales en vigencia e imposiciones establecidas por ley, evitando de esta manera el deterioro de la calidad del proyecto.

3.6.2. CÓMPUTOS MÉTRICOS

Los cómputos métricos son el resultado de la medición de cada una de las actividades o de cada ítem, para lo cual es importante la precisión de cada medida y de acuerdo al análisis de cada elemento específico se debe determinar el porcentaje de mayoración para el cómputo final. A continuación se presentan en las siguientes tablas los cómputos métricos de la situación actual del proyecto y los cómputos métricos de la alternativa propuesta mediante el presente estudio.

3.6.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DEL PRECIO UNITARIO.

3.6.3.1. MATERIALES

Es el primer componente que tiene su importancia en la estructura de costos, su magnitud y cantidad dependen de la definición técnica y las características propias de cada uno de los materiales que integran el ítem.

Otro factor que debe ser considerado para definir el rendimiento de los insumos, es la experiencia de los técnicos e ingenieros de la empresa, la misma que se refleja en la metodología del trabajo y la aplicación de tecnologías apropiadas para el proyecto específico.

3.6.3.2. MANO DE OBRA

La mano de obra, se halla condicionada a dos factores:

- El precio que pagan por ella o salario.
- El tiempo de ejecución de la unidad de obra o rendimiento y a tres sistemas de trabajo, a jornal, a contrato y destajo.

El salario se halla regulado por ley de la oferta y la demanda, siendo muy variable inclusive con relación a distintos sitios del país y en todo caso existe un precio mínimo establecido por el Ministerio del Trabajo y Desarrollo Laboral.

Los costos indirectos de la mano de obra se calcula basado en varios criterios, englobados en las cargas sociales, que incluyen rubros como: aportes, vacaciones, licencias y enfermedad, días efectivamente trabajados, costos de campamento y alimentación. Todas estas incidencias fueron convertidas en días efectivamente pagados y en porcentajes de incidencias que sirvieron para determinar los factores de mayoración correspondientes.

Los valores tomados para la mano de obra en sus diferentes categorías, han sido tomados a partir de la investigación realizada en Tarija y su comparación con otros parámetros de mano de obra que se están utilizando actualmente en la construcción de carreteras en Bolivia.

Con el objeto de dar cumplimiento a las disposiciones legales, los beneficios correspondientes a las cargas Sociales se incluirán dentro de la estimación de los jornales y el costo horario como aportes patronales.

Los costos de mano de obra no otorgan ningún crédito fiscal a la empresa constructora, por tanto se debe considerar sobre el costo de la mano de obra el Impuesto al Valor Agregado IVA.

3.6.3.3. MAQUINARIA Y EQUIPO

Básicamente, el costo horario de la maquinaria y equipo de construcción se determinó, considerando en cada caso, la vida económica expresada en horas de operación. Como tales estimaciones se realizan en la modalidad "fuera de trabajo", se han optado los valores de vida media generalmente aceptados para condiciones medias de operación.

El costo de la maquinaria y equipo está constituido por dos ítems principales: costos variables de operación y costos fijos.

El costo fijo se calcula en función a valores de mercado del precio de compra del equipo y del costo financiero de la inversión.

Los costos variables dependen de las características del equipo y maquinaria de construcción y se basan en el consumo de combustible y lubricantes, y también en una estimación de los repuestos para el mantenimiento.

3.6.3.4. HERRAMIENTA Y EQUIPOS MENORES

En general para este rubro, se adoptan un porcentaje de la mano de obra teniéndose como racional el 5% ya establecido dentro de los análisis de precios unitarios.

El impuesto al valor agregado de herramienta y equipos menores puede ser despreciado ya que su influencia es muy pequeña y prácticamente se pueden obtener facturas por la compra de casi la totalidad de estas.

3.6.3.5. GASTOS GENERALES

El rubro de gastos generales es el que engloba a un sin número de ítems que en su conjunto representan un determinado porcentaje sobre el Costo Total. De manera general, la composición de los Gastos Generales tiene los siguientes enfoques:

- Gastos Pre operativos
- Gastos Administrativos
- Aportes a Entidades
- Riesgos e Imprevisto

3.6.3.6. UTILIDAD

Es el beneficio que busca la empresa en la realización de las obras, y por consiguiente su fijación en porcentaje es difícil de determinar. Normalmente se suele utilizar un valor entre el 5% y el 10% del costo parcial del ítem (Costo Directo más Gastos Generales), el referente que se utiliza en el presente proyecto es del 5%.

3.6.3.7. IMPUESTOS

Con el objeto de dar cumplimiento a las disposiciones legales, se debe contemplar los impuestos por ley que son los siguientes:

- Impuestos a las transacciones comerciales (I.T.)
- Impuesto al valor agregado (I.V.A.)

La determinación de sus porcentajes sobre precio final que se suele utilizar son de 3.09% para el I.T. y de 14.94% I.V.A. de acuerdo a las últimas normativas del país.

3.7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

3.7.1 TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE

1. DESCRIPCIÓN

Los tratamientos bituminosos superficiales, de penetración invertida son revestimientos constituidos de material bituminoso y agregados, en los cuales los agregados se colocan uniformemente sobre el material bituminoso, en una, dos o tres capas, denominándose tratamiento superficial simple, doble o triple respectivamente.

Los tratamientos superficiales deben ser ejecutados sobre una base previamente imprimada y de acuerdo con los alineamientos, rasantes y secciones transversales diseñadas.

2. MATERIALES

Los materiales deberán ser del tipo y clase tal que satisfagan las exigencias de las especificaciones a continuación detalladas:

2.1 MATERIALES BITUMINOSOS

Asfalto diluido de curado medio:	AASHTO M-82
Asfalto diluido de curado rápido:	AASHTO M-81
Asfalto emulsionado:	AASHTO M-140
Cemento asfáltico:	AASHTO M-20
Alquitrán:	AASHTO M-52

Los tipos de materiales serán los siguientes:

Asfalto diluido de curado medio:	MC-800 y MC-3000
Asfalto diluido de curado rápido:	RC-250, RC-800 y RC-3000
Asfalto emulsionado:	RS-1 y RS-2
Cemento asfáltico; penetración:	85-100, 100-120, 120-150 y 150-200
Alquitranes:	RT-5, RT-6, RT-7, RT-8, RT-9

2.2 ADITIVOS DE ADHERENCIA

Cuando no exista suficiente adherencia entre el material bituminoso y los agregados, deberá emplearse un aditivo de adherencia aprobado por el INGENIERO previo el ensayo AASHTO T-182.

2.3 AGREGADOS

Los agregados pétreos para tratamientos superficiales deben ser partículas Provenientes de la trituración de grava o piedra de buena calidad.

Cuando el agregado triturado provenga de ripio, grava natural o canto rodado, no será permitido obtenerla por trituración de partículas menores a 30 mm., o sea que todo el material a triturar deberá ser retenido por el tamiz de abertura circular de una pulgada y un cuarto (1 ¼”).

El agregado pétreo, cualquiera sea su origen, tendrá sus partículas limpias, duras, sanas y exentas de películas de arcilla, polvo, álcalis, materias orgánicas o cualquier otra sustancia extraña.

El contenido máximo de humedad del agregado será fijado en cada caso por el INGENIERO, teniendo en cuenta para ello el tipo de material bituminoso empleado.

El desgaste no debe ser superior a 40%, a 500 revoluciones, al ser sometidos al ensayo de Los Ángeles según AASHTO T-96.

Cuando sean sometidos al ensayo de resistencia con sulfato de sodio, en cinco ciclos, tal como lo determina el método AASHTO T-104, estos materiales no deberán sufrir una pérdida de peso mayor del 12%.

Cuando se use grava triturada, no menos del 90% en peso tendrá que componerse de partículas que tengan por lo menos una cara fracturada.

Cuando los agregados sean ensayados de acuerdo al método AASHTO T-182, deberá haber una retención de la película bituminosa mayor al 95%. Las cantidades de agregados y de ligantes bituminosos de las Tablas 10.1 a 10.3 servirán como guía, debiendo fijarse los valores exactos durante la construcción, en tramos experimentales.

Las partículas de los agregados deberán ser de forma aproximadamente cúbica o piramidal, no admitiéndose más del 10% en peso de partículas planas o alargadas.

**CANTIDADES DE MATERIALES POR METRO CUADRADO
USANDO ASFALTO DILUIDO, CEMENTO ASFÁLTICO O ALQUITRÁN
PARA TRATAMIENTOS BITUMINOSOS SUPERFICIALES**

Gradación de los materiales Orden de las operaciones	Designación de Tipo de Tratamiento					
	AT-25	AT-35	AT-50	AT-60	AT-70	AT-110
Primera capa						
Aplicar mat. Bituminoso	1.36	0.99	1.13	0.68	1.36	0.90
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación D	13.60	13.60				
Graduación C			19.00			
Graduación B				21.70	27.10	(1)
Graduación A						38.00
Segunda capa						
Aplicar mat. Bituminoso		0.59	1.13	1.36	1.58	1.81
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación E		5.40	8.10			
Graduación D				6.50	6.50	(2)
Graduación C						10.80
Tercera capa						
Aplicar mat. Bituminoso				0.68		0.90
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación E				4.30		6.50
Cuarta capa						
Aplicar mat. Bituminoso						0.90
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación F						4.34
Totales						
Material bituminoso	1.36	1.58	2.26	2.72	2.94	4.51
Litros	13.60	19.00	27.10	32.50	37.50	59.64
Agregados, kilogramos						

OBSERVACIONES:

(1) Representa aproximadamente 19 Lt/m².(2) Representa aproximadamente 7 It/m².

CANTIDADES DE MATERIALES POR METRO CUADRADO; USANDO ASFALTO EMULSIONADO PARA TRATAMIENTOS BITUMINOSOS SUPERFICIALES

Gradación de los materiales Orden de las operaciones	Designación de Tipo de Tratamiento					
	AT-25	AT-35	AT-50	AT-60	AT-70	AT-110
Primera capa						
Aplicar mat. Bituminoso	1.58					
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación D	13.60	13.60				
Graduación C			13.60			
Graduación B				19.60		
Graduación A					27.10	38.00
Segunda capa						
Aplicar mat. Bituminoso		2.04	1.58	20.04	20.26	1.81
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación E		5.40	5.40			
Graduación D				8.70	10.80	10.80
Tercera capa						
Aplicar mat. Bituminoso			1.13	1.13	1.13	2.04
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación E			5.40	4.30	4.30	
Cuarta capa						
Aplicar mat. Bituminoso						1.13
Litros						
Distribuir agregados						
Kilogramos						
Graduación F						4.34
Totales						
Material bituminoso, litros	1.18	2.04	2.71	3.17	3.39	9.98
Agregados, kilogramos	13.60	19.00	27.10	32.60	37.90	59.64

Los pesos indicados en las tablas Nos. 10.1 y 10.3, corresponden a agregados que tengan un peso específico, de 2.65, determinado por los ensayos AASHTO T-84 y T-85. Se harán correcciones adecuadas cuando los agregados proporcionados en obra

tengan un peso específico mayor de 2.75 o menor de 2.55. En tal caso la cantidad corregida será el producto del número de kilogramos indicados en las tablas Nos. 09.1 y 09.2 multiplicado por la relación del peso específico de los agregados con respecto de 2.65. La gradación de los agregados debe obedecer a lo especificado en la siguiente tabla:

**REQUISITOS DE GRADACIÓN DE AGREGADOS PARA TRATAMIENTOS
BITUMINOSOS SUPERFICIALES**

Tamiz	Porcentaje, en peso, que pasa por los tamices de malla cuadrada Método AASHTO T – 27					
	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F
1 ½"						
1"	100					
¾"	90-100	100	100			
½"	20-55	90-100	90-100	100		
3/8"	0-10	20-55	40-70	85-100	100	100
No. 4	0-5	0-15	0-15	10-30	85-100	85-100
No. 8		0-5	0-5	0-10	10-40	60-100
No.100						0-10

**REQUISITOS DE GRADACIÓN DE AGREGADOS
PARA CAPA DE SELLADO**

Tamiz	Porcentaje en peso, que pasa por los tamices de malla cuadrada Método AASHTO T-27
No. 4	100
No. 200	0 - 2

3. EQUIPO

Todo el equipo será examinado por el INGENIERO, antes de iniciarse la ejecución de la obra, debiendo estar de acuerdo con esta especificación para que sea dada la orden de iniciación de los servicios, caso contrario, todo equipo que no se encuentre en buenas condiciones de operación deberá ser retirado del área de trabajo y sustituido por otro equivalente en buenas condiciones de operación.

Los carros distribuidores de materiales bituminosos, especialmente construidos para ese fin, deben estar provistos de dispositivos de calentamiento; deberán disponer de tacómetro, calibradores y termómetros en lugares de fácil acceso, y además disponer

de un esparcidor manual para el tratamiento de pequeñas superficies y correcciones localizadas.

Para la fijación de los agregados se utilizarán rodillos lisos de tipo tándem y compactadores neumáticos autopropulsados. Los rodillos lisos tipo tándem deberán tener un peso que esté comprendido entre 5 y 8 toneladas. Los compactadores neumáticos autopropulsados deberán tener un ancho total de consolidación no menor de 1,50 m. y el peso bruto deberá ser ajustable dentro de los límites de 36 a 63 Kgs. por cm. de ancho consolidado. El peso de operación será fijado por el INGENIERO.

Los distribuidores de agregados, remolcables o autopropulsados deberán poseer dispositivos que permitan una distribución homogénea de la cantidad de agregados fijada en el proyecto.

4. EJECUCIÓN

No se permitirá la ejecución de los trabajos, objeto de esta Especificación, durante los días de lluvia o cuando haya amenaza de lluvia.

El material bituminoso no debe ser aplicado en superficies mojadas, excepto en el caso de emulsiones asfálticas siempre que las superficies no tengan exceso de agua. Ningún material bituminoso será aplicado cuando la temperatura ambiente sea inferior a 10°C, excepto cuando exista autorización por escrito del INGENIERO.

En el caso de lluvias, aún después de imprimada la base, solamente se podrá ejecutar el revestimiento cuando la humedad de la parte inferior de la misma no exceda en 2% de la humedad óptima.

La temperatura de aplicación deberá determinarse para cada tipo de material bituminoso, en función de la relación temperatura-viscosidad. Se elegirá una temperatura que proporcione una mejor viscosidad para el esparcimiento.

En caso de utilizarse un aditivo de adherencia, se exigirá que el aditivo se añada al ligante bituminoso en el depósito de la obra, obligándose a agitar la mezcla ligante bituminoso aditivo, el tiempo que indique el INGENIERO.

Para la ejecución del tratamiento superficial la superficie de la base imprimada deberá estar en perfecto estado, debiendo ser reparadas todas las fallas eventualmente existentes, con la anticipación suficiente para el curado del ligante empleado.

Antes de ser iniciadas las operaciones de ejecución del tratamiento, se procederá a un barrido de la superficie, para eliminar todas las partículas de polvo.

Las cantidades del material bituminoso y de los agregados a aplicar serán las ordenadas por el INGENIERO, con base en el tramo experimental a ser ejecutado cantidades que podrán ser posteriormente ajustadas por el INGENIERO con base en la observación de los tramos en construcción.

Los materiales bituminosos se aplicarán en lo posible de una sola vez en todo el ancho a ser tratado y como máximo en dos fajas. La aplicación se hará de modo que se asegure una buena junta entre dos aplicaciones adyacentes. Las juntas de aplicación de dos capas sucesivas no deben coincidir, recomendándose un desplazamiento lateral de 50 cm. entre la junta de una capa y la siguiente.

El distribuidor de asfalto debe ser ajustado y operado de manera que el material se distribuya uniformemente sobre un ancho determinado a la tasa de aplicación ordenada. En el caso de existir exceso de material bituminoso en un sector, éste será rechazado.

Inmediatamente después de la aplicación del material bituminoso, el agregado especificado debe distribuirse uniformemente, en las cantidades ordenadas. La distribución se realizará mediante el equipo especificado. Cuando sea necesario, para garantizar un recubrimiento uniforme, la distribución podrá complementarse por un proceso manual adecuado. El exceso de agregado debe ser retirado antes de la compactación.

La longitud de aplicación del material bituminoso, estará condicionada a la capacidad de cobertura inmediata con el agregado. En caso de una paralización súbita e imprevista del carro distribuidor de agregados, éstos deben esparcirse manualmente en la superficie ya cubierta con el material bituminoso.

El agregado debe compactarse en el ancho total lo más rápidamente posible después de su aplicación. La compactación será interrumpida antes que el agregado presente señales de fractura.

La compactación debe empezar por los bordes y proseguir hasta el eje en los lugares en tangente; en las curvas se procederá siempre del borde más bajo hacia el más alto. Cada pasada de rodillo debe ser cubierta por la siguiente por lo menos en la mitad de su ancho. Se puede permitir el tránsito bajo control fuera de la faja de compactación del agregado.

Para una segunda y tercera capa, en el caso de tratamiento doble y triple respectivamente, se aplicará el material bituminoso en las cantidades y tipo ordenados, seguido de la distribución del agregado y su respectiva compactación, de modo idéntico al realizado en la primera capa. Después que la última capa haya sido compactada y fijado el agregado, se procederá al barrido del agregado suelto.

No se permitirá el tránsito durante la aplicación del material bituminoso o del agregado, pudiendo abrirse solamente cuando se haya completado la compactación.

Durante las 24 horas luego de la compactación, el tránsito será controlado a una velocidad máxima de 40 Km/hora, a cuyo efecto el CONTRATISTA deberá proporcionar un coche guía y un conductor para dirigir el tránsito. El CONTRATISTA también estará obligado a proveer el personal y los agregados necesarios para cubrir el material bituminoso que eventualmente pudiera exudar. Cuando las Disposiciones Especiales así lo dispongan, sobre el tratamiento superficial doble será aplicada una capa de sellado. En este caso, luego de aplicado el riego adicional de sellado y previo paso de aplanadora (una pasada completa), se efectuará una aplicación de arena (ver Tabla No. 10.5), a razón de 3,00 Lts/m².

Posteriormente se efectuarán cinco (5) pasadas de aplanadora sobre el riego de arena una vez que ésta, esté convenientemente distribuida. Si el INGENIERO lo considera conveniente, podrá ordenar se efectúe un rodillado, con rodillo neumático múltiple, antes de librar al tránsito la calzada.

5. CONTROL POR EL INGENIERO

Todos los materiales serán examinados en laboratorio, obedeciendo la metodología y las especificaciones en vigencia.

5.1 CONTROL DE CALIDAD DEL MATERIAL BITUMINOSO

El control de calidad del material bituminoso constará de los siguientes ensayos, debiendo ser realizado un grupo de ensayos para cada 50 Tn. o para cada partida que llegue a la Obra:

- | | |
|---|---------------------|
| a) Cementos asfálticos: | |
| Contenido de agua: | AASHTO T-55 |
| Penetración: | AASHTO T-49 |
| Viscosidad Sayboft-Furol: | AASHTO T-72 |
| Ductilidad: | AASHTO T-51 |
| Punto de inflamación: | AASHTO T-48 |
| Ensayo al horno de película delgada: | AASHTO T-179 |
| Ensayo de la mancha: | AASHTO T-102 |
| b) Asfaltos diluidos: | |
| Contenido de agua: | AASHTO T-55 |
| Destilación: | AASHTO T-78 |
| Penetración: | AASHTO T-49 |
| Viscosidad Sayboft-Furol: | AASHTO T-72 |
| Ductilidad: | AASHTO T-51 |
| Punto de inflamación: | AASHTO T-79 |
| c) Alquitranes: | |
| Contenido de agua: | AASHTO T-55 |
| Viscosidad Engier: | AASHTO T-54 |
| Ensayo de flotación: | AASHTO T-50 |
| Destilación: | AASHTO T-52 |

d) Emulsiones asiáticas:	
Viscosidad Saybolt-Furol:	AASHTO T-59
Residuo por evaporación:	AASHTOT-59
Ensayo de tamizado:	AASHTOT-59
Sedimentación:	AASHTO T-59

A requerimiento del INGENIERO, el CONTRATISTA estará obligado a presentar certificados de un laboratorio independiente, acreditando la calidad de los productos bituminosos a emplearse en la obra, sin perjuicio del control antes mencionado. La aceptación de los certificados no eximirá de la responsabilidad del CONTRATISTA sobre la calidad de la obra.

5.2 CONTROL DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS

El control de calidad de los agregados constará de lo siguiente:

- 2 Análisis granulométricos por cada día de trabajo.
- 1 Ensayo de desgaste Los Ángeles por mes, cuando exista variación en la naturaleza del material.
- 1 Ensayo de peso específico para cada 900 m³.
- 1 Ensayo de adherencia para cada envío de ligante bituminoso a la obra y siempre que hubiera variación en la naturaleza de los agregados.

5.3 CONTROL DE ADITIVO DE ADHERENCIA

El control del aditivo de adherencia constará de lo siguiente:

- 1 Ensayo de adherencia para cada envío del aditivo que llegue a la obra.
- 1 Ensayo de adherencia toda vez que el aditivo fuera incorporado al ligante bituminoso.

5.4 CONTROL DE TEMPERATURA DE APLICACIÓN DEL LIGANTE BITUMINOSO

La temperatura del ligante bituminoso debe verificarse en el distribuidor, inmediatamente antes de la aplicación.

5.5 CONTROL DE CANTIDAD DEL LIGANTE BITUMINOSO

El control de cantidad del material bituminoso se realizará mediante el pesaje del carro distribuidor, antes y después de su aplicación. No siendo posible el control por este método se admitirán las siguientes modalidades:

- a) Se colocará en la faja de riego una bandeja de peso y área conocidos. Mediante una pesada luego del paso del carro distribuidor, se tendrá la cantidad utilizada de material bituminoso.
- b) Se utilizará una regla de madera, pintada y graduada de tal manera que se obtenga directamente, por diferencia de altura del material bituminoso en el tanque del carro distribuidor, antes y después de la operación, la cantidad de material consumido.

5.6 CONTROL DE CANTIDAD Y UNIFORMIDAD DEL AGREGADO

Se harán para cada día de operación, por lo menos dos controles de la cantidad aplicada de agregado.

Se realizará este control colocando alternadamente en la faja de trabajo, recipientes de peso y área conocidos. Por simples pesadas después del paso del distribuidor, se determinará la cantidad realmente esparcida de agregado. Este mismo agregado será utilizado en el ensayo de granulometría para control de la uniformidad del material utilizado.

5.7 CONTROL DE UNIFORMIDAD DE APLICACIÓN DEL MATERIAL BITUMINOSO

Debe realizarse una descarga de 15 a 30 segundos para poder controlar la uniformidad de distribución. Esta descarga puede efectuarse fuera de la plataforma, o en la misma, si el carro distribuidor estuviera dotado de una caja colocada debajo de la barra de riego para recoger el ligante bituminoso.

5.8 CONTROL GEOMÉTRICO

El control geométrico en el tratamiento superficial, deberá consistir de una verificación del acabado de la superficie. Esta se realizará con dos reglas, una de 3.00 m. y otra de 1.00 m. de longitud colocados transversal y paralelamente al eje de la carretera respectivamente. La variación de la superficie entre dos puntos cualesquiera de contacto no debe exceder de 0.5 cm. cuando se verifique con cualquiera de las dos reglas.

6. MEDICIÓN

La medición de este trabajo se efectuará bajo tres ítems:

- a) Ejecución del tratamiento y suministro de los agregados pétreos que será medido en metros cuadrados de acuerdo a la sección transversal del proyecto.
- b) Suministro de material bituminoso en litros o toneladas controlado conforme el inciso 5.5
- c) Suministro de aditivo de adherencia en kilogramos efectivamente aplicados.

7. PAGO

Los trabajos de tratamientos superficiales bituminosos, medidos en conformidad al inciso 6, serán pagados a los precios unitarios contractuales correspondientes a los ítems de Pago definidos y presentados en los Formularios de Propuesta.

Dichos precios constituirán la compensación total por la limpieza de la superficie de la faja imprimada, suministro, preparación, transporte y colocación de los materiales, almacenamiento, calentamiento y distribución de los materiales bituminosos, pérdidas rodillado, y por toda la mano de obra, materiales, herramientas, equipo y todos los imprevistos necesarios para ejecutar la obra detallada en esta Especificación.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
2.5	Tratamiento superficial Triple	M2

CAPÍTULO IV:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

La construcción de vías de acceso adecuado, como es la apertura de carretera y puente vehicular, permitirá a las comunidades integrarse a la vida económica del municipio; con lo que se estará mejorando la calidad de vida de sus pobladores.

A través de un adecuado mantenimiento de los proyectos, se garantiza el servicio y la seguridad de los usuarios al transitar, evitando, de esta manera, la interrupción de las actividades económicas y la pérdida de inversión en los proyectos.

Las necesidades básicas y de infraestructura en las comunidades son diversas y urgentes de resolver; esto será posible, con el trabajo conjunto de municipalidad, comités, apoyo técnico y la comunidad misma; logrando de esta manera minimizar los problemas que afrontan las poblaciones.

El efecto directo y a corto plazo en la economía de la región se traducirá en una mayor fluidez vehicular para el traslado de los productos hacia los centros comerciales de productos agrícolas principalmente la ciudad de Tarija.

4.1.1. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO A DISEÑO FINAL

Se realizó como trabajo de campo el levantamiento de una faja topográfica amplia que se extiende entre los puntos de inicio y terminación del proyecto, sobre el camino existente. Con los datos obtenidos en el campo se dibujó la faja topográfica con curvas de nivel, y sobre este terreno se procede al diseño del trazado del proyecto.

Una vez hecho el diseño definitivo de la vía se procedió a replantear las curvas con sus respectivos puntos de inicio y final de curva y sus referencias.

La pendiente máxima es de 5.92 %. La categoría de la ruta es Locales (III) con una Velocidad de proyecto de 70 Km/hra.

Teniendo los datos del terreno y proyecto se procedió a calcular el movimiento de tierra, determinándose volúmenes de corte, relleno, diagrama de masas y volumen de sobre acarreo, considerando una distancia de acarreo libre de 500 m, que es lo que utiliza la Administradora Boliviana de Carreteras.

Los análisis de suelos se efectuaron en puntos estratégicos a lo largo del terreno con lo cual se determinó la clasificación A.A.S.H.T.O. de los suelos a lo largo de la ruta así como la razón soporte de California (C.B.R.). El C.B.R. de diseño es igual a 3.8 %, se tomó el valor mas bajo para evitar sobre dimensionamientos.

Con los datos obtenidos del aforo de tráfico se calcula el T.P.D.A. y aplicando el método de la fatiga se procedió a diseñar el espesor del pavimento.

Finalmente, se elaboró un presupuesto referencial del costo de la construcción de la vía, para lo cual se analizaron todos los precios unitarios de cada rubro.

4.2. RECOMENDACIONES

- Si se ejecuta el proyecto se deberá tener un plan de sostenibilidad del camino, es decir, una planificación para cualquier contingencia.
- Se recomienda, que el proyecto sea ejecutado en época de estiaje, precisamente, donde muchos comunarios emigran a la ciudad en busca de fuentes de trabajo eventuales que les permita tener ingresos adicionales a los de sus actividades agrícolas.
- Se recomienda insertar las medidas de mitigación ambientales, tomar en cuenta su implementación y el costo que ello implica, además de incluir las medidas ambientales en los términos de referencia para que el supervisor

proceda con seguimiento ambiental y que se consideren los costos que ello implica.

- Se deberá apoyar e incentivar a las comunidades en la agricultura, esto con el fin de subir sus niveles de ingreso, disminuir la migración campo ciudad; como también mantener el camino estable para un tráfico fluido.

- En síntesis Ejecutar el proyecto.

Por lo dicho anteriormente se recomienda la construcción del proyecto denominado “ASFALTADO TRAMO VIAL ANCÓN CHICO – PAMPA LA VILLA CHICA” que es de una sentida necesidad para las comunidades beneficiadas, y se convertirá en un medio de superación para cada familia.

Los resultados de la evaluación del proyecto “ASFALTADO TRAMO VIAL ANCÓN CHICO – PAMPA LA VILLA CHICA”, determinan que el estudio correspondiente es viable y factible por lo tanto, se recomienda proceder.