

ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

Durante el transcurso de los años se llega a observar que en la ciudad de Tarija se ha tenido un mejoramiento de las vías urbanas, en la zona de Torrecillas no se cuenta con un acceso a la nueva terminal de buses del sur de Tarija la misma que será construida en la zona sur-este de la ciudad de Tarija.

1.2 Identificación del Problema

La identificación del problema se basa en la falta de un diseño geométrico, planificación vial y de un buen mantenimiento rutinario, que no se tomó en cuenta en esta zona de Torrecillas, donde se necesita realizar un diseño geométrico del camino de acceso a la nueva Terminal de Buses y por tratarse de una ruta de características importantes a la cual concurrirán flujos vehiculares de gran importancia, desde el interior del departamento de Tarija y del país, el mismo que generará grandes beneficios a la población.

El proyecto de diseño de los accesos a la nueva terminal de buses del sur, se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija, provincia Cercado, en la zona de torrecillas hacia el lado Sur-Este de la ciudad de Tarija las coordenadas reales de ubicación de la nueva terminal de buses son **N** 7614885.5116 **E** 326606.8396 **Z** 1858.974.

1.3 Justificación

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

El acceso a la nueva terminal estará al beneficio de la circulación de buses que llegarán desde el interior del departamento de Tarija y del país, este trabajo es una de las necesidades que tiene nuestra ciudad ya que dentro del proyecto de la construcción de la nueva terminal, no está considerado la construcción de los accesos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Realizar el diseño geométrico de los accesos de ingreso y salida de los buses a la nueva terminal en la zona de Torrecillas que comprende desde la vía asfaltada (avenida Panamericana) de ingreso en la parte Sur (Kilómetro 5) y salida en la parte Norte por la avenida Panamericana.

1.4.2 Objetivos Específicos

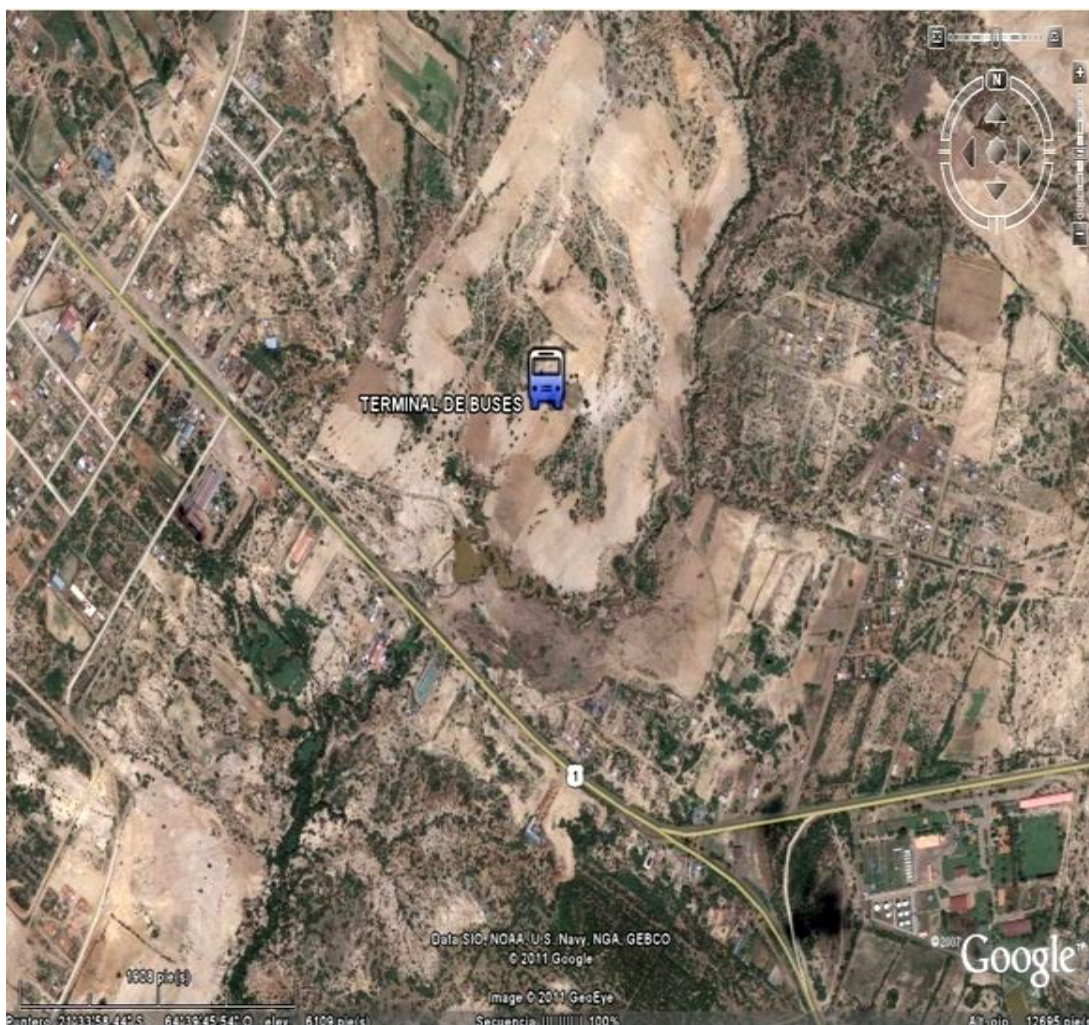
- Realizar el levantamiento topográfico del tramo (Av. Panamericana-barrio Torrecillas).
- Elaborar el cálculo correspondiente de los volúmenes de corte, relleno y diagrama de masa de los accesos.
- Determinar el volumen del tráfico vehicular y velocidades de los vehículos en la avenida panamericana.
- Realizar el diseño geométrico de los accesos tomando en cuenta parámetros recomendados por la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras.
- Esquematizar las obras de arte menores tomando en cuenta los datos pluviométricos (SENAMHI) de la estación más cercana a la zona de estudio.
- Elaborar el presupuesto general de todo el trabajo.

1.5 Alcance del Trabajo

El alcance del presente trabajo es realizar el diseño geométrico de los accesos, sus obras de arte menores y un análisis de costo para la vía urbana donde se realizará lo siguiente:

- Primeramente se realizará la topografía del tramo que consiste en un trabajo de campo y un trabajo de gabinete, luego con la información obtenida se realizará el diseño geométrico establecido para este tipo de vía urbana.
- Trabajar en la planimetría, elaborando el perfil longitudinal, rasantes y luego seguir con las secciones transversales tomando en cuenta el ancho de la calzada, taludes para posteriormente realizar el computo volumétrico con lo que corresponde al movimiento de tierras calculando el área y el volumen, mas su diagrama de masa respectivo.
- Determinar el volumen de tráfico vehicular y velocidades de los vehículos para satisfacer la demanda actual y la proyectada para cinco años, para conocer su nivel de servicio de la Av. Panamericana.
- Esquematizar las obras de arte como alcantarillas en los accesos, del tramo respectivo.
- Con la información obtenida se realizará los cálculos métricos y el análisis de los precios unitarios de los diferentes ítems que se requieren en este trabajo y por último se expondrán conclusiones y recomendaciones.

Figura 1.1 Vista Satelital



Fuente: (GOOGLE)

INGENIERÍA DEL PROYECTO

2.1 Estudio Topográfico

2.1.1 Topografía del Tramo

La topografía es uno de los pasos principales de la ingeniería civil ya que gracias a ella podemos realizar un buen diseño geométrico un factor principal de la localización física de la vía urbana que afecta a su alineamiento horizontal, sus pendientes, sus distancias de visibilidad y sus secciones transversales dándonos a conocer el tramo donde se realizará el estudio como ser las curvas de nivel y su relieve del terreno. El presente trabajo presenta una topografía Plana y en parte intermedia del tramo una topografía ondulada.

2.1.1.1 Trabajo de Campo

Primeramente se realizó el reconocimiento del lugar, donde se observa las pendientes y radios de curvatura en los sitios críticos de la vía urbana, así como la colocación de alcantarillas en los puntos más bajos.

Una vez recorrido el tramo en estudio, se establece una faja suficientemente ancha de terreno como para localizar el eje del camino. Se procedió a levantar topográficamente tomando como punto de inicio la vía asfaltada (Avenida Panamericana) siendo las coordenadas **N** 7614496.0135, **E** 326542.0341, y su cota de elevación **Z** 1858.465 es decir la progresiva 0+000.

Teniendo como objetivo la obtención de las coordenadas y cotas , para la planimetría de la poligonal, la nivelación de la misma y las transversales que nos permitan la representación de curvas de nivel cada metro de la faja levantada en el tramo.

Para obtener la faja continua de datos para el perfil longitudinal en el terreno se

estaqueo cada 20 m. sobre el eje y se levantaron transversales con un ancho de 15 m. a cada lado del eje suficientes para tener una representación de la faja necesaria para el diseño geométrico. Para fines de control del trabajo topográfico y el replanteo posterior se han colocado referencias de BMs cada 100 a 200 metros.

El levantamiento fue realizado con el cuidado de mantener la pendiente longitudinal de la poligonal preliminar debajo del máximo especificado. Este levantamiento tiene el objetivo de proporcionarnos los datos necesarios para la confección del plano en planta, perfil longitudinal y perfiles transversales para trazar el eje definitivo del camino, determinar el movimiento de tierras, y localizar las obras de arte, etc.

El levantamiento topográfico abarcó longitud de 0+610 Km. acceso de ingreso de Sur a Este y 0 + 610 Km. el acceso de salida de Este a Norte, con un derecho de vía de 22 m. ambos accesos, toda la información del levantamiento topográfico se encuentra en Anexos que muestran las coordenadas de cada punto.

2.1.1.2 Trabajo de Gabinete

El trabajo de gabinete se realizó una vez concluido toda la topografía de campo y se pasó a descargar toda la información de la estación Total SOKKIA, instrumento topográfico con el que se trabajó a la computadora donde recuperamos las libretas de campo, y éstos fueron calculados en gabinete, mediante programas de computación Lan Cad 2007 y las mismas fueron calculadas mediante coordenadas XYZ. Datos topográficos ver ANEXO XI. Como resultado del trabajo de campo se obtiene en gabinete lo siguiente:

- Curvas de Nivel
- Plano de planta
- Plano de Perfil longitudinal
- Plano de transversales

2.2 Diseño Geométrico

Se entiende por diseño geométrico de una vía urbana que comprende el dimensionamiento de sus elementos físicos tales como curvas verticales, curvas horizontales, ancho de carril, secciones transversales, los alineamientos, pendientes, distancias de visibilidad, peralte, sobreancho, con las características de operación, facilidades de frenado, aceleración, condiciones de seguridad, etc.

El diseño de los accesos está orientado a definir todos los aspectos geométricos y estructurales de tal forma que una faja de terreno sea acondicionada para el tránsito vehicular, que comprenderá todos los elementos y factores que orienten a establecer un trazo definitivo entre dos o más puntos.

Como el estudio se trata de diseñar los accesos, se ha planteado la alternativa para el trazo cuidando las fuertes pendientes, con grandes movimientos de suelos debido a las pendientes de diseño, radios de curvatura y la implantación de las obras de arte como las alcantarillas. Existen alternativas para el trazado por partes, por lo tanto se ha tratado de diseñar los accesos equilibrando las características técnicas, económicas, sociales y ambientales.

Una vez realizado el análisis en sitio y en gabinete de la alternativa planteada, y haber realizado un recorrido preliminar por la zona de objeto del estudio de la alternativa, y tomando en cuenta los siguientes aspectos como:

- Facilidad de mantener con menor desarrollo la pendiente especificada
- Menor movimiento de tierras
- Menor costo
- Tierras Saneadas por los Comunarios
- Menor cantidad de obras de arte

Considerando como viable la alternativa de diseñar los accesos y además de presentar buenas condiciones para la ejecución del proyecto y para cumplir con los objetivos del mismo. El tipo de suelo tiene como característica general suelo compuesto por tierra mezclada con material granular.

2.2.1 Parámetros de Diseño

En el diseño geométrico se establecen una serie de factores que nos permiten realizar el trazado de un camino urbano que necesariamente deberá tener un equilibrio entre las condiciones físicas de la vía urbana, los vehículos que van a transitar y las velocidades que van a imprimir, por ello se han definido los siguientes componentes o factores. Los parámetros adoptados en el presente diseño están en función de la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC, aspectos como el ancho de carril, la ausencia de bermas, radios de curvatura y pendientes longitudinales. Los parámetros adoptados se presentan en el cuadro 2.1

Cuadro 2.1 Parámetros a usar en el Diseño Geométrico

Categoría del camino según norma ABC	IV
Volumen de tráfico día TMDA	< 200
Topografía	Plana y Ondulada
Velocidad de diseño	30 Km/h
Peralte máximo	7 %
Radio mínimo	25 m
Pendientes máximas en rectas	7% - 10%
Distancia mínima de frenado ($i = 0\%$)	30 m
Valor K para curvas verticales	Convexas:2m-Cóncavas:4 m
Acera a cada lado	3,50 m
Ancho de carril, según la DOT	3.25 m

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de carreteras de la ABC

2.2.1.1 Velocidad de Diseño

La velocidad de proyecto es la velocidad máxima segura que se puede mantener en una sección específica de una vía. Una vez seleccionada, todas las características pertinentes de las vías deben estar relacionadas a la velocidad de proyecto para obtener un proyecto balanceado. Algunas características, tales como la curva horizontal y vertical, la elevación y la distancia de visibilidad, se encuentran directamente relacionadas con la velocidad de proyecto. Cuando se hace una modificación a la velocidad de proyecto, muchos elementos en el proyecto de las vías urbanas cambian. La velocidad de diseño se la determinó, tomando en cuenta dos aspectos muy importantes como es la topografía del lugar y el tráfico vehicular existente.

Para evaluar y definir estos aspectos se recurrió a la Administradora Boliviana de Carreteras, del cual se definió la velocidad de diseño a partir de su tráfico y la topografía existente. La velocidad de diseño adoptada para el proyecto es: 30 Km / h.

Cuadro 2.2 Velocidades de Diseño Según la Norma ABC

CATEGORÍA		VELOCIDAD (Km/h)
(TPD < 200)	0	120 a 80
	IA	120 a 70
	IB	120 a 50
	IV	80 a 30

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de carreteras de la ABC.

2.2.1.2 Radio de Curvatura Mínimo

Las curvas circulares deben tener como especificación el radio de curvatura mínimo, éste debe adoptarse en concordancia con la velocidad de proyecto y el peralte máximo. De acuerdo a las normas de la ABC, se establecen los radios de curvatura en función de los anteriores parámetros indicados en los términos de referencia. En el

presente proyecto se adoptó como válido el parámetro indicado en los términos de referencia que indican como radio de curvatura mínimo 25 m.

Desde el punto de vista vial el radio de curvatura es aquel parámetro de diseño geométrico que define la curvatura de un arco de circunferencia a través de su longitud, es así que a mayor radio corresponde menor curvatura y a menor radio corresponde mayor curvatura.

Según la norma de la ABC la aplicación del radio mínimo no es recomendable; sólo será utilizado en casos particulares, condicionado por razones técnicas o económicas

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * P_{max} * (f \pm i)}$$

Donde:

R_{min} = Radio mínimo de la curva (m).

P_{max} = Peralte máximo (%).

V = Velocidad de diseño del proyecto (Km/h)

f = Coeficiente de fricción (neumático-calzada).

i = Pendiente longitudinal.

2.2.1.3 Sobreancho

La trayectoria de los vehículos en curvas horizontales, debido a la rigidez del chasis de los vehículos generalmente originan que las trayectorias del eje delantero y trasero sean diferentes, si se quiere mantener la trayectoria del eje delantero dentro del carril que le corresponde, el eje trasero requiere de un ancho adicional denominado Sobreancho.

Este parámetro al igual que el resto de los parámetros geométricos tiene su

importancia, tiene una función específica que cumple en la trayectoria de los vehículos en las vías urbanas en la trayectoria curva, en el caso de los caminos vecinales de bajo volumen de tráfico al tener velocidades de proyecto más bajas, directamente este sobreancho se hace menor sin embargo debe ser considerado para que se tenga cierta seguridad en las trayectorias curvas.

Para la obtención del sobreancho se deben conocer las características y dimensiones del vehículo (tipo) adoptado para el diseño de los accesos, la velocidad de diseño y el radio de la curva horizontal, y su trayectoria coincidirá con la trayectoria de la transición del peralte.

Cuadro 2.3 Sobreancho de los Carriles de Circulación Según la Norma ABC

Categoría del camino	Características	Velocidad Directriz (Km/hr)	Sobreancho (m)
IV	Calzada Simple doble carril	80 - 30	0.5 – 1.50

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de carreteras de la ABC

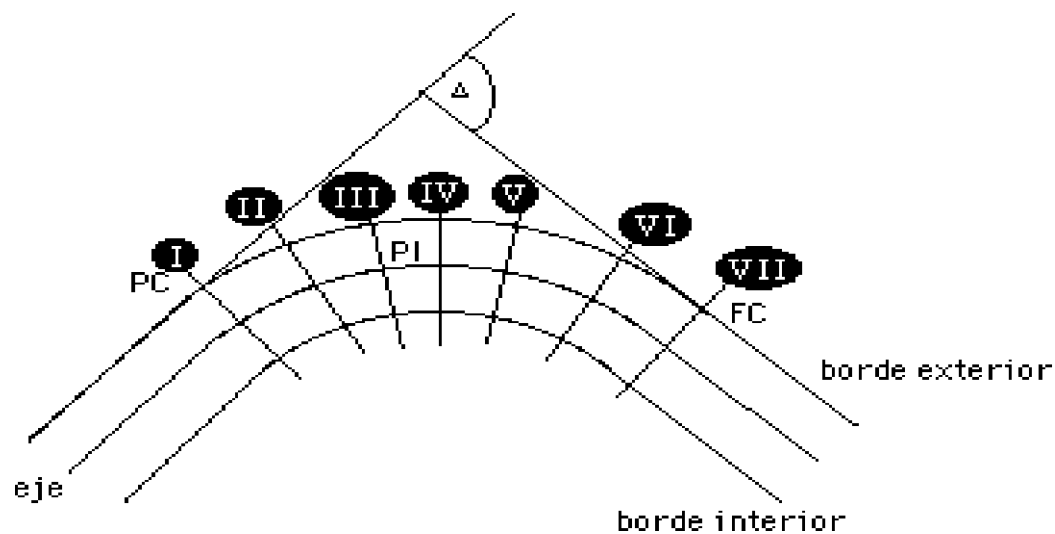
2.2.1.4 Peralte

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

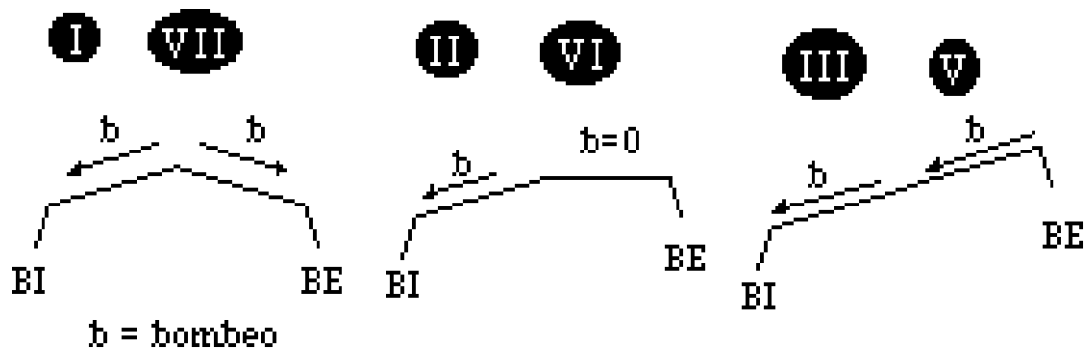
La elección del peralte adecuado para un proyecto de una vía urbana debe obedecer a criterios en los que se tenga un equilibrio entre el radio de curvatura, el peralte y el coeficiente de fricción. Las normas de la ABC establecen peraltes máximos recomendables para diversos tipos de camino. En el presente proyecto se adoptó el parámetro indicado por los términos de referencia que indicaban como peralte máximo de 7 %.

Este parámetro tiene su importancia, por lo tanto debe establecerse los peraltes respectivos concordantes con toda la geometría de la vía urbana en tanto las condiciones topográficas sean más severas, se tendrá que establecer los peraltes más recomendables de manera que la circulación de los vehículos sea en confort y seguridad en las trayectorias curvas. A continuación mostramos las recomendaciones de las normativas respecto a este parámetro.

Transición del peralte



Perfiles de las secciones indicadas:



Las normas de la ABC establecen peraltes máximos recomendables para diversos tipos de camino.

$$p = \frac{V^2}{127 * R} - f$$

Donde:

P = Peralte en decimal

V = Velocidad de diseño en Km/hr

R = Radio de curvatura en m

f = Coeficiente de fricción transversal del neumático - calzada.

La norma adopta un peralte máximo de acuerdo a la categoría de la vía urbana y de esta manera se pueda calcular un radio de curvatura mínimo, esto significa que mientras el radio de curvatura se acerque al mínimo el peralte será el máximo admisible por la norma.

En casos en que los radios se alejen del mínimo, el peralte debe reducir hasta el caso en que no se precise del mismo, esto sucede en curvas con radios de curvatura muy grandes, en este caso el valor obtenido por la fórmula dará negativo. Un valor muy importante para el uso de la fórmula de equilibrio es el factor de fricción neumático calzada o coeficiente de fricción transversal.

Cuadro 2.4 Valores Máximos para el Peralte y el Coeficiente de Fricción Transversal

DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD DE PROYECTO VP (km/h)	PERALTE MÁXIMO e_{max} (%)	FRICCIÓN TRANSVERSAL f
CAMINOS	30 a 80	7	0,265 – V/602,4
CARRETERAS	80 a 120	8	0,193 – V/1134

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de carreteras de la ABC

Cuadro 2.5 Radios Mínimos Absolutos en Curvas Horizontales

DESCRIPCIÓN	VP (km/h)	e _{max} (%)	f	R min (m)
CAMINOS COLECTORES LOCALES DESARROLLO	30	7	0,215	25
	40	7	0,198	50
	50	7	0,182	80
	60	7	0,165	120
	70	7	0,149	180
	80	7	0,132	250
CARRETERAS AUTOPISTAS AUTORRUTAS PRIMARIOS	80	8	0,122	250
	90	8	0,114	330
	100	8	0,105	425
	110	8	0,096	540
	120	8	0,087	700

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de carreteras de la ABC

2.2.1.5 Curvas Horizontales

Para el diseño de las curvas horizontales se consideró los siguientes factores de diseño como ser el radio de Curvatura mínimo de 25 m. y un peralte de 7 %.

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

$$p + f = \frac{V^2}{127 * R}$$

Donde:

R = radio de curvatura

V = velocidad directriz

p = peralte

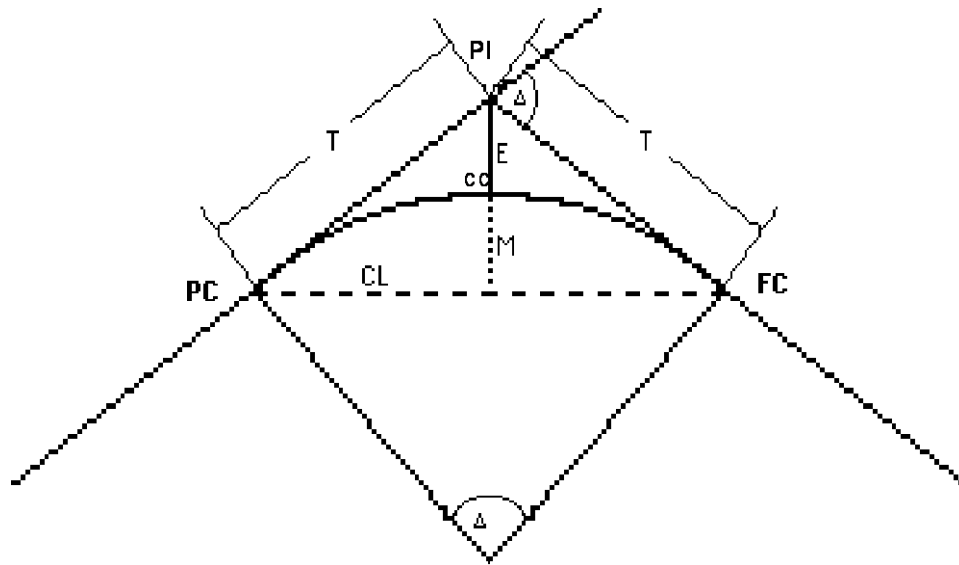
f = coeficiente de fricción lateral

Despejando de la misma la velocidad se establece que las especificaciones anteriores corresponden a una velocidad directriz de 30 Km/h. No obstante y de acuerdo a los radios que se establezcan para cada PI y la sobre elevación de esta, se establecen las velocidades reales, que admitirán las curvas, como se pueden ver en las planillas respectivas (Planillas de Alineamiento Horizontal y Vertical en Anexos).

Dentro de las curvas horizontales se tienen dos posibilidades las curvas circulares simples y las curvas de transición. Las curvas de transición son las que técnicamente mejor satisfacen las condiciones de circulación y confort de los vehículos, el enlace se realiza a través de curvas de mayor grado como lo son la espiral cúbica, parábola cúbica o lemniscata de Bernoulli que son más suavizadas y permiten en la circulación un movimiento más seguro y confortable a la entrada y salida de una curva horizontal, pero debido al incremento del volumen que se incrementaría son descartadas para este proyecto.

En el proyecto se utilizaron curvas circulares simples porque las características del alineamiento no permitirán el diseño de curvas de transición adecuadas por el poco espacio disponible entre PIs. En las planillas adjuntas utilizando el programa computarizado de referencia se tiene la ubicación de todas las curvas del proyecto, más sus elementos correspondientes, se tuvo que diseñar curvas horizontales con radios mínimos de 25 m. En base a los parámetros planimétricos de una vía urbana correspondiente a la categoría B, especificados anteriormente, se diseñaron las curvas horizontales en el eje definitivo evitando tener radios de curvaturas menores al recomendado por la ABC para esta categoría de vías urbanas.

Curva Circular Simple



2.2.1.6 Perfil Longitudinal

El Perfil longitudinal es aquel que resulta de la obtención de las cotas del levantamiento topográfico a lo largo del eje definitivo de diseño de la vía a partir de las curvas de nivel, es decir se obtienen las cotas de las estacas correspondientes por interpolación. Esta metodología es la más práctica siendo aceptada su utilización siempre y cuando se disponga de un levantamiento topográfico que muestre exactamente las características del terreno, en caso contrario lo más recomendable es proceder a un replanteo del eje por nivelación, e ir obteniendo las cotas cada 20 mts. en las rectas y cada 10 mts. en las curvas.

Cuales quiera de las formas de obtención de las cotas de nivelación, se proceden en base a datos topográficos a graficar el perfil longitudinal del eje definitivo de la vía urbana en un plano cuyas escalas son 1:1000 horizontales y 1:100 vertical o 1:2000 horizontal y 1:200 vertical.

2.2.1.7 Rasante

La rasante es el perfil de las terracerías del camino compuesto por las líneas rectas que son las pendientes unidas por arcos de curvas parabólicas verticales. Según sea el sentido del cadenamiento, las pendientes ascendentes se marcan con signo positivo y las descendentes con signo negativo.

Para proyectar la rasante se tomó en cuenta las especificaciones de pendiente máxima y de longitud de curvas verticales, además de la conveniencia de no usar contrapendiente innecesarias, ni excesiva cantidad de quiebres que darían un alineamiento vertical defectuoso, inadecuado para el tránsito de vehículos el cual debe ser seguro y cómodo. Una vez que se ha elegido una rasante, deberán calcularse las curvas verticales.

Después de obtenido el perfil longitudinal se procede a la elección de la rasantes que son las líneas que definen el nivel de la vía urbana. Estas rasantes deberán ser elegidas tomando en cuenta tres aspectos importantes:

- Pendiente máxima especificada
- Puntos obligados de altimetría.
- Compensación de volúmenes longitudinalmente.

El criterio del proyectista debe ser el encontrar las sub-rasantes que produzcan una mayor compensación, pasen por los puntos obligados y tengan la pendiente más baja

2.2.1.8 Curvas Verticales

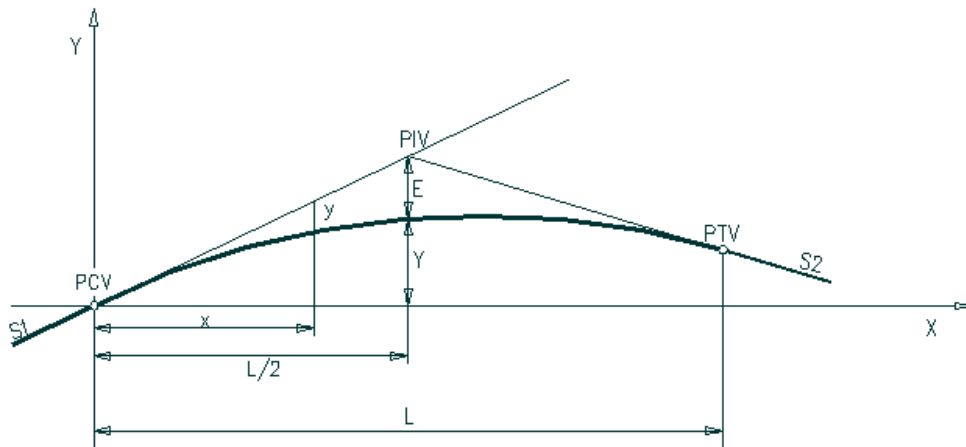
El enlace de las rasantes son a través de curvas parabólicas que por su característica tiene una menor curvatura al inicio, final y una mayor curvatura en la parte central lo cual se acomoda a una mejor circulación de los vehículos.

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

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

Curva Simétrica

$$Y = \frac{P * X^2}{2L}$$



Curva Asimétrica:

$$Y_1 = m * \left(\frac{X_1}{L_1}\right)^2$$

$$Y_2 = m * \left(\frac{X_2}{L_2}\right)^2$$

Donde:

p = diferencia algebraica de pendientes

m = ordenada media

L = Longitud de curva vertical

L1 = longitud a la izq. del vértice

L2 = longitud a la der. del vértice

X, X1, X2 distancias de las abscisas a contar de los extremos de la curva. Existen varios criterios para determinar la longitud mínima de curvas verticales como ser:

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

Esta última es la que consideramos más adecuado para el proyecto, cuyas relaciones que permiten la determinación de la longitud mínima de acuerdo al caso son:

do > L

$$L = 2 * d_0 - \frac{2(H + h) * 2}{P} \quad \text{Curva cóncava}$$

$$L = 2 * d_0 - \frac{2(H + d_0 \operatorname{tg} \alpha)}{P} \quad \text{Curva convexa}$$

do < L

$$L = \frac{P * d_0 * 2}{2(H + h)2} \quad \text{Curva cóncava}$$

$$L = \frac{P * d_0 * 2}{2(H + d_0 \operatorname{tg} \alpha)} \quad \text{Curva convexa}$$

Donde:

do = distancia de visibilidad para parar
 p = diferencia algebraica de pendientes
 H = altura del ojo del conductor
 h = altura del objeto
 L = Longitud mínima de curva

En cada caso se determino la longitud mínima de la curva vertical y en base a esta se adopto un valor mayor generalmente múltiplo de 10 o 5 m.

2.2.2 Sección Transversal

La sección transversal se la determinó de la sección que corresponde a una vía urbana según la Oficina de Ordenamiento Territorial de Tarija por definición son las características de una vía urbana terminada en su sección transversal, donde los componentes más usuales son:

2.2.2.1 Ancho de la Calzada

Tomando las recomendaciones de la oficina de Ordenamiento Territorial de Tarija como la norma de la ABC, se consideró una calzada simple de 6.50 metros de doble circulación, con carriles de 3.25 m. y jardinera central. El ancho y el estado de la superficie de la calzada tienen gran influencia en la seguridad y confort del usuario de la vía urbana.

2.2.3 Taludes

2.2.3.1 Pendientes de Taludes

Las pendientes asumidas para los taludes de corte y relleno recomendada por la ABC para el tipo de suelo Limo arcilloso que se presenta en la zona.

2.2.3.2 Taludes de Corte

Por las características del terreno, sabiendo que el mayor porcentaje de corte se realizará sobre suelo limoso la norma recomiendan la relación de 1: 1

2.2.3.3 Taludes de Relleno

Para el talud de relleno, de acuerdo a las recomendaciones para este tipo de material la norma recomienda el talud de relleno la relación 2: 1 con respecto a la horizontal.

Cuadro 2.6 Taludes Usados en el Proyecto

TALUD DE	PENDIENTE ADOPTADA (H / V)
CORTE	1 / 1
RELLENO	2 / 1

Fuente: Manual y Normas para el diseño geométrico de carreteras de la ABC

Por lo tanto, sobre la base de las conclusiones respecto a estabilidad y mantenimiento que se presenten en el suelo se definirá la inclinación del talud que respete los criterios de seguridad, de estética y un adecuado balance económico.

2.3 Movimiento de Tierras

2.3.1 Perfil Transversal

El Perfil transversal es la representación del relieve de terreno, las características de la superficie del terreno transversalmente al eje definitivo del eje de la vía urbana. Este perfil transversal puede ser obtenido en campo o en gabinete si la poligonal del levantamiento es muy próxima al eje definitivo se pueden utilizar las transversales de la poligonal, si se aleja del eje definitivo de la vía urbana se recomienda la obtención de perfiles transversales de gabinete en función al plano de curvas de nivel donde en cada estación se traza transversales sobre cada estación perpendicular al eje con una distancia de 15 m. a la derecha y 15 m. a la izquierda, con estos valores se gráfica el perfil transversal del terreno.

2.3.2 Cálculo de Áreas y Volúmenes

Los volúmenes de material que se deben extraer de las excavaciones o cortes y los que se deben colocar para formar los rellenos o terraplenes para construir una vía se calculan a partir de las secciones transversales, de los cuales se obtienen volúmenes parciales.

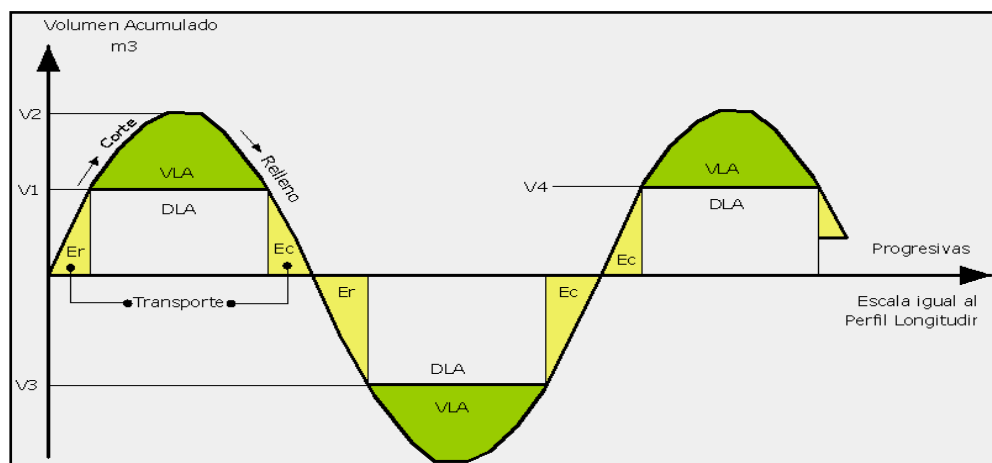
El cálculo de volúmenes de material viene a ser el resultado más importante de todo el diseño, ya que éste constituye un parámetro sobre el que se basa la economía o la no economía del diseño de la vía. El cálculo de volúmenes se lo obtiene a través del promedio de las áreas calculadas en la sección transversal multiplicada por la distancia que los separa. El programa computacional Lan Cad genera automáticamente estos volúmenes en función de las áreas de las secciones transversales calculadas; estas áreas de las secciones transversales se reflejan en ANEXOS.

2.3.3 Diagrama de Masa

La curva masa se la obtiene a partir de una gráfica de los volúmenes acumulados en los movimientos de tierra, busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

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

Figura 2.1 Diagrama de Masas



Fuente: Elaboración Propia

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

El diagrama masa para este proyecto también se lo generó con el programa Lan Cad y se lo adjunta en los planos del proyecto. Se puede hacer notar los detalles de corrección por expansión donde la expansión del terreno de corte es cuando se mueve la tierra de un sitio natural, su volumen aumenta.

Donde la proporción de aumento de cada tipo de material puede ser establecida con bastante exactitud teniendo en cuenta el aumento volumétrico se expresa generalmente como un porcentaje de volumen original. A continuación presentamos una lista parcial de los tipos de materiales, mostrando el peso de material, porcentaje de expansión, factor de conversión y peso por metro cubico de material suelto

Cuadro 2.7 Características Aproximadas de los Materiales

MATERIALES	EN BANCO(Kg/m ³)	% DE EXPANSIÓN	FACTOR DE CONVERSIÓN	ESTADO NATURAL (Kg/m ³ de material)
Arcilla seca	1620	40	0.72	1166.4-1170.0
Arcilla mojada	2100	40	0.72	1512.0
Carbón antarsista	1560	35	0.74	1154.4
Carbón bituminoso	1350	35	0.74	999.0
Tierra común seca	1020	15-35	0.87-0.74	754.8 - 887.4
Tierra mojada	2100	25	0.8	1680.0
Grava seca	1470	10 - 15	0.87-0.74	1087.8 - 1278.9
Grava mojada	2340	10 - 15	0.91-0.87	2035.8 - 2129.4
Yeso	2580	30	0.77	1986.6 - 1987.0
Arena seca	1320-2034	10 - 15	0.91-0.87	1148.4 - 1201.2
Arena mojada	1470-2340	10 - 15	0.91-0.87	1278.9 - 1337.7
Pizarra	2640	65.00	0.6	1584.0

Fuente: Maquinaria y Equipos de Construcción Ing: Ramiro Castellanos

El peso y factor de conversión volumétrico de cada material, varía con los siguientes factores: tamaño de sus partículas componentes, contenido de humedad, grado de compactación, etc. Si se debe determinar exactamente el peso de un material será

necesario pesar una porción del material en cuestión. En casos de hacer corrección en tramos curvos podemos utilizar la formula de: Cubicación en vías curva:

$$V_{curva} = V_{recta} \pm C_c$$

Donde:

V_{curva} = Volumen corregido en vía curva (m^3)

V_{recta} = Volumen en el tramo recto (m^3)

C_c = Coeficiente de corrección por Curvatura (m^3)

El coeficiente corrección de una curvatura que nos permite determinar el volumen en vía curva, tiene la siguiente relación:

$$C_c = \frac{L}{2 * R} * (A_1 * e_1 + A_2 * e_2)$$

Donde:

L = Longitud entre secciones transversales (m)

R = Radio de la curva (m)

A_1 = Área de corte o relleno de la 1ra sección transversal (m^2)

A_2 = Área de corte o relleno de la 2da sección transversal (m^2)

e_1 = Excentricidad de la 1^{ra} sección transversal (m)

e_2 = Excentricidad de la 2^{da} sección transversal (m)

2.4 Drenaje de la Vía Urbana

El drenaje superficial abarca todos, los medios, a través de los cuales se retira el agua superficial de la calzada. Un sistema de drenaje es lo que debe interceptar todo el escurrimiento directo superficial, para encausar esta agua a canales y cunetas que tengan el diseño adecuado para su descarga final en el curso de aguas naturales, para que la estructura de la vía urbana pueda funcionar correctamente y para prevenir fallas en la plataforma.

El sistema de drenaje superficial para vías urbanas debe incluir pendientes transversales y longitudinales, que sean adecuadas tanto en la calzada como en el acotamiento para asegurar el escurrimiento directo sea positiva, así como canales longitudinales (zanjas), alcantarillas y puentes para proveer la descarga del agua superficial.

También se construyen desagües de agua pluvial y boca tormentas en el separador central de una vía en zonas urbanas. Un caudal razonable de diseño se basa comúnmente en una tormenta que tiene una frecuencia de recurrencia (periodo de retorno) de 20 a 100 años, dependiendo del tipo y valor de la estructura y de los reglamentos locales. Para una mayor comprensión; este estudio, se ha dividido en dos tipos de drenaje

2.4.1 Drenaje Superficial

Es aquel que se encarga de garantizar la estabilidad de la vía urbana, su función es de recoger las aguas provenientes de la plataforma, los taludes y llevarlos en el tiempo más corto fuera de la obra. En este tipo de drenaje son considerados las siguientes obras; cunetas, bombeo lateral donde sea necesario en el tramo para el desalojo de las aguas pluviales.

2.4.2 Drenaje Subterráneo

Este tipo de drenaje consiste en el Caudal directo ordenado para controlar el escurrimiento del agua subterránea. En el presente proyecto después de realizar un sondeo, se llega a la conclusión de que no es necesario este tipo de drenaje. Es importante reconocer que las vías urbanas no se deterioran por el tráfico sino por la erosión, hidráulica, eólica.

En el presente trabajo se considera un periodo de retorno de 25 años para estructuras de drenaje longitudinal y 50 años para las estructuras de drenaje transversal.

2.5 Análisis Hidrológico

Este análisis se realizó a través del estudio probabilístico de las precipitaciones máximas diarias que se tiene en la estación del Aeropuerto que es la más cercana a la zona de Torrecillas, y a partir de ellas se trazaron las curvas de intensidad, duración y frecuencia y de esta manera calcular el escurrimiento máximo para diferentes probabilidades de ocurrencia. El cálculo se lo realizó por medio de la ley Gumbell modificada que obedece a la siguiente relación:

$$h_{dT} = E_d \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta} (1 + K_d \log T)$$

Donde:

H_{dT} = Lluvia máxima diaria para un periodo de retorno T, en (mm.)

E_d = Moda, en (mm.)

K_d = Característica de la distribución

T = periodo de retorno en años

$$hd_T = Ed_{pond} \left(\frac{t}{12} \right)^{0.2} * (1 + Kd_{pond} * \log(T))$$

Donde:

t = tiempo en horas

β = Exponente que varía entre 0.2 y 0.3

α = tiempo correspondiente a la lluvia diaria (12 hs.)

Precipitación Máxima en 24 hrs (mm)

$$Ed = \bar{X} - 0.455 * \sigma$$

$$Kd = \frac{\sigma}{0.557 * Ed}$$

Estación: AEROPUERTO
 Provincia: CERCADO
 Departamento: TARIJA

Lat. S.: 21° 32' 48"
 Long. W.: 64° 42' 39"
 Altura: 1,849 m.s.n.m.

Nro	AÑO	Pmax 24hrs(mm)
1	1975	657,90
2	1976	500,10
3	1977	564,90
4	1978	721,30
5	1979	616,10
6	1980	540,60
7	1981	707,40
8	1982	554,90
9	1983	310,00
10	1984	676,60
11	1985	718,60
12	1986	701,90
13	1987	563,90
14	1988	659,30
15	1989	566,60
16	1990	528,30
17	1991	664,00
18	1992	623,70
19	1993	629,00
20	1994	513,50
21	1995	518,70
22	1996	680,40
23	1997	404,40
24	1998	371,10
25	1999	652,00
26	2000	593,40
27	2001	669,80
28	2002	562,70
29	2003	531,60
30	2004	523,20
31	2005	655,10
32	2006	634,90
33	2007	650,40
Media		590,97

Cálculos y resultados

Nº =	33	Nº Datos
X =	590,97	Media
σ =	98.72	Desviación Estándar
σ^2 =	9745,14	Varianza
C.V=	0,17	Coef. Variación
Ed =	545,47	Moda
Kd =	0,31	Característica

Moda y Característica

Ponderada

$$Ed_{pond} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot Ed_{(j)}}{\sum n_j} \quad Ed_{pond} = 545,47$$

$$Kd_{pond} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j \cdot Kd_j}{\sum n_j} \quad Kd_{pond} = 0,31$$

Lluvias máximas diarias para un periodo de retorno de T años

$$hd_T = Ed_{pond} * (1 + Kd_{pond} * \log(T))$$

Donde:

$$hd_T = \text{Lluvia máx diaria para un periodo de retorno T}$$

T = Periodo de retorno en años T

Cuadro 2.8 Alturas de Lluvias para Diferentes Periodos de Retorno

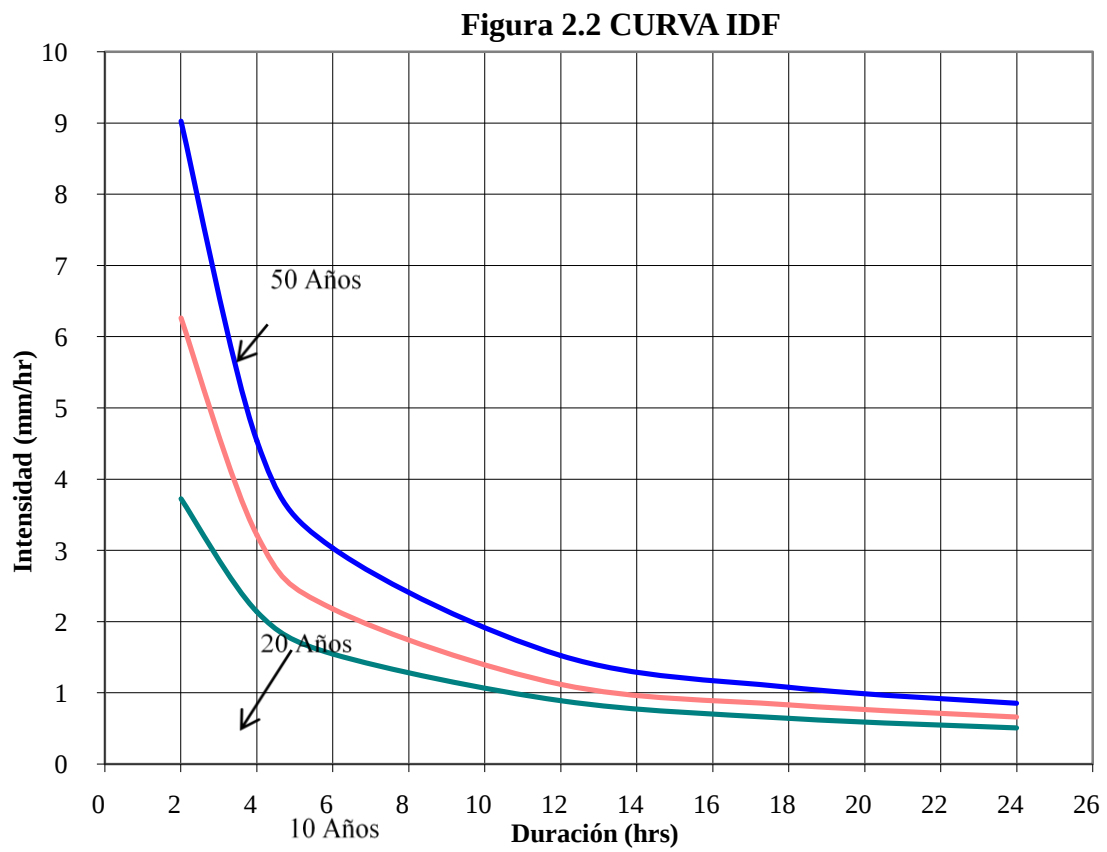
PERIODOS DE RETORNO AÑOS	ALTURAS DE LLUVIAS (mm)
10	10.66
20	13.78
50	17.90

Altura de Lluvias Máximas Horarias

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN DE LLUVIAS EN hrs					
	2	4	6	12	18	24
10 años	7.45	8.56	9.28	10.66	11.57	12.25
20 años	12.53	12.88	13.09	13.46	14.94	15.83
50 años	18.05	18.15	18.21	18.31	19.41	20.56

Intensidades Máximas(mm/h)

PERIODO DE RETORNO	DURACIÓN DE LLUVIAS EN hrs					
	2	4	6	12	18	24
10 años	3.73	2.14	1.55	0.89	0.64	0.51
20 años	6.26	3.22	2.18	1.12	0.83	0.66
50 años	9.03	4.54	3.04	1.53	1.08	0.86



Fuente: Hidrología de Chereque M. Wendor

2.6 Obras de Arte

Las obras de arte son elementos esenciales para el desarrollo y mejoramiento de los puntos más críticos donde se tenga más dificultad en base a la ejecución de una vía urbana.

2.6.1 Alcantarillas

La función principal de las alcantarillas es la de evacuar toda clase de aguas provenientes de cunetas, zanja de coronación, terrenos adyacentes y arroyos permanentes. A continuación se dará algunos conceptos sobre alcantarillas para poder determinar cuál de éstas es la necesaria para implementar o mejorar en los tramos críticos de erosión.

2.6.1.1 Alcantarillas de Alivio

Son aquellas obras de drenaje cuyo objetivo principal es poder desahogar el caudal de las cunetas que vienen longitudinalmente de la vía urbana, para aquello se requiere captar el caudal en una cámara y transportarlo al lado opuesto al camino a través de una tubería.

Estarán ubicadas cada cierto tramo de la carretera de manera que eviten el llenado excesivo de la sección de las cunetas, como una regla general o recomendable se dice que deben ir cada 100 m. sin embargo en un proyecto se tendrá que ver las condiciones económicas (disponibilidad) y las condiciones técnicas (topografía, pendiente, tipo de suelo) para en definitiva determinar la ubicación o separación entre cámaras.

Las alcantarillas de alivio obligadamente deberán ubicarse en los puntos más bajos de acuerdo al diseño geométrico, pueden ser sustituidas en sus objetivos por otros tipos de obras de arte como ser badenes, alcantarillas, puentes, etc.

La distinción entre alcantarillas y puentes es difícil porque ambos cumplen las mismas funciones, generalmente la distinción se hace por magnitud o tamaño de una obra.

2.6.1.2 Alcantarillas de Cruce

Son obras de drenaje en un camino vecinal cuyo objetivo es resguardar la estructura de la vía urbana ante la presencia de una quebrada o río transversal al eje de la vía.

Normalmente este tipo de obras deberá ir ubicada transversalmente a la vía urbana hasta un esviajamiento con el eje del río o quebrada de 5°, si éste es mayor a 5° se recomienda que la obra sea colocada en forma esviada.

2.6.1.3 Alcantarillas de Tubo

Son aquellas que están recomendadas cuando las secciones del área hidráulica son relativamente pequeñas y cuando el arrastre de los ríos o quebradas no tenga palizada y piedras, aunque es posible utilizar alcantarillas de tubo de cemento.

Siendo los de mayor uso los tubos de fierro corrugado de la marca ARMCO cuyas características han resultado ser las más adecuadas a nuestro medio, dentro de este tipo de alcantarillas existen varias dimensiones.

La ventaja es su durabilidad, su resistencia a la corrosión, su facilidad en el armado y en el traslado ya que tienen piezas relativamente pequeñas que pueden ser manipulables, la elección del tipo de tubo estará en función de su magnitud y las condiciones de entorno de la quebrada o río.

2.6.2 Diseño Hidráulico de Alcantarillas

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

$$Q = c * i * A$$

El coeficiente de escorrentía puede ser un valor ponderado por el coeficiente de escorrentía de la superficie de rodadura de la vía y el coeficiente correspondiente al resto del área de aporte.

El área de aporte estará dada en función a la separación entre alcantarillas de alivio (L) y el ancho medio del derecho de vía (22 m.).

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

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

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

Al ser la única incógnita el diámetro del tubo por iteración se encontrará el diámetro necesario para soportar el caudal. En la práctica puede no ser un diámetro comercial por lo que deberá adoptarse uno cuyo valor sea el más próximo al de diseño pero superior. La alcantarilla de alivio en general está constituida por la cámara de ingreso y el tubo.

El diseño hidráulico de las alcantarillas de cruce tiene como objetivo fundamental determinar las dimensiones del área hidráulica necesaria que pueda permitir el paso

de las aguas transversalmente a la vía. En la práctica existen varios métodos para el dimensionamiento en vías urbanas:

- a) Método por comparación.
- b) Método de Talbot.
- c) Método racional.
- d) Método de sección y pendiente.
- e) Método de precipitación pluvial.

a) Método por Comparación:

Dentro del diseño de caminos vecinales es frecuente encontrar zonas de condiciones climatológicas similares donde deben emplazarse alcantarillas o en su caso ríos o quebradas que cortan transversalmente al camino varias veces en un mismo tramo, esta situación permite que puedan dimensionarse por comparación con otras ya existentes cuyo funcionamiento haya sido comprobado y con buenos resultados. El método no hace más que adoptar las mismas dimensiones de la alcantarilla ya conocida y proceder a su ejecución.

b) Método de Talbot:

Por el método que es empírico cuya ecuación fundamental es la siguiente:

$$a = 0.183 * C * \sqrt[4]{A^3}$$

Donde:

a = Área hidráulica (m²)

C = Coeficiente de escorrentía

A = Area de la cuenca en (Has)

Valores de “C”

Terrenos montañosos	1.0
Terrenos con lomerío	0.8
Terrenos ondulados	0.5
Terrenos planos	0.2

En este método la variable fundamental es el área de la cuenca por lo que su uso se recomienda cuando se dispone de buena información sobre la superficie de la cuenca.

c) Método Racional:

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

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

Donde:

Q = Caudal (lt/seg)

i = intensidad de precipitación (mm/hr) (en los 10 min. de máx. Concentracion)

A = Área de la cuenca (Has)

$$Q = 27.52 * c * i * A$$

i = (cm/hr)

c = Coeficiente de escorrentía.

Valores de “c”

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

En base a la ecuación racional siempre y cuando se tengan los valores confiables sobre la intensidad de precipitación el cual estará determinado a partir de las precipitaciones máximas diarias utilizando distribución de ajustes probabilísticas como: distribución normal, logarítmica-normal, Pearson y otros que nos permiten encontrar una correlación entre la intensidad de precipitación el tiempo de retorno y el de concentración, se recomienda tomar el valor de intensidad de precipitación en los 10 min. de tiempo de concentración y un periodo de retorno de 50 a 100 años.

Determinado el caudal que va a pasar por el punto donde se va a ubicar la alcantarilla utilizando la ecuación de Manning donde Q ya es un dato, además tenemos la pendiente longitudinal de la alcantarilla en base al lecho del río, el coeficiente “n” dependiendo de la rugosidad del material de la alcantarilla dejando como incógnita el valor de área hidráulica necesaria que por iteración se la puede obtener ya sea ésta en sección circular (diámetro) o rectangular (base por altura).

d) Método de Sección y Pendiente:

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

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

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

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

e) Método de Precipitación Pluvial:

Este método también empírico que hizo una modificación a la ecuación racional considerando que es importante tomar en cuenta la pendiente longitudinal del lecho del río, la relación que nos permite calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = 0.022 * c * i * A * \sqrt[4]{\frac{S}{A}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/seg)

c = Coeficiente de escorrentía

i = Intensidad de precipitación (cm/hr) (10 min. máx. concentración)

S = Pendiente longitudinal del lecho (m/Km)

A = Área de la cuenca (Has)

Esta ecuación también puede ser usada siempre y cuando se conozcan datos confiables de intensidad de precipitación, área de aporte de la cuenca, pendiente longitudinal del lecho del río.

El diseño de una alcantarilla cuando se la realiza integralmente, es un proceso que abarca no solamente el diseño hidráulico del conducto sino que se refiere a las condiciones de ubicación, alineamiento y pendiente, que tendrá la estructura, la selección del tipo, forma del conducto y sus instalaciones accesorias, el estudio de los posibles daños que puede causar la erosión producida por las aguas y a su remedio, a las condiciones de instalación del conducto y al cálculo estructural bajo las cargas externas a que estará sometido, a la prevención de los daños debido a la corrosión, al análisis de la obra desde los puntos de vista de la seguridad y de la estética vial y la justificación económica del diseño que se haya propuesto. Como los sistemas de drenaje inciden sobre el costo y mantención de las carreteras, es necesaria

que las alcantarillas sean diseñadas considerando que su funcionamiento deberá estar acorde con las limitaciones impuestas por los sistemas y métodos de mantenimiento.

Antes de proyectar la obra se tiene que calcular el caudal máximo que debe evacuar la alcantarilla, las cuales tienen diferentes orígenes que tenemos que agrupar en tres grupos:

- **Aguas de drenaje Longitudinal.**- Son las aportadas por las cunetas y zanjas eventuales, generalmente se las denomina como Q_L .
- **Aguas de drenaje natural.**- Son las aportadas por las zanjas de coronación y drenaje natural llamadas Q .
- **Aguas permanentes.**- Las mismas que pueden tener varios orígenes (Q).

El caudal longitudinal es ya conocido por el diseño de las cunetas (Q).

El caudal de drenaje natural (Q) se podrá calcular por cualquier método de la hidrología.

El caudal permanente (Q) se debe medir con algunos instrumentos o métodos conocidos.

2.6.3 Diseño Hidráulico del Proyecto

Para diseñar las obras de drenaje transversal es preciso conocer el caudal que éstas transportarán, como los caudales ya fueron determinados anteriormente, ahora en este apartado se procederá a dimensionar estas obras de drenaje.

El dimensionamiento de las obras de drenaje transversal, más claramente dicho las alcantarillas de alivio se realizará utilizando la ecuación de Manning, donde la forma geométrica escogida para el diseño será una sección circular, de tubos de Hormigón.

La ecuación de Manning es la Siguiete:

$$Q = \frac{1}{n} * (Rh)^{\frac{2}{3}} * (S)^{\frac{1}{2}} * (A)$$

Donde:

Q = Caudal proveniente de las cunetas [m3/seg]

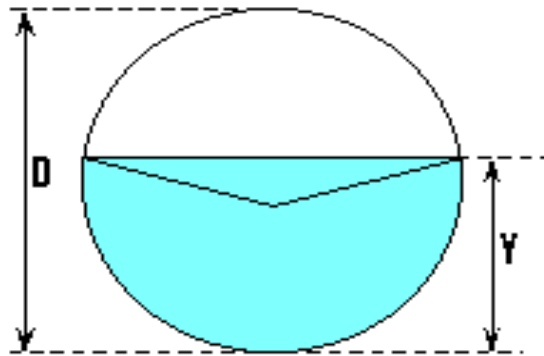
n = Coeficiente de rugosidad en función del material (n = 0.018)

A = Área Hidráulica del tubo [m²]

R = Radio Hidráulico del tubo [m]

S = Pendiente transversal de la alcantarilla [m/m]

De acuerdo a las características geométricas definidas se diseña la sección para que trabaje a la mitad del diámetro de los tubos $y=D/2$, para asegurar un buen funcionamiento de todas las alcantarillas de alivio.



Área Hidráulica

$$A = \frac{D^2 * 3.1416}{8}$$

Radio Hidráulico

$$Rh = \frac{D}{4}$$

Diámetro del Tubo

Tirante Normal

$$D = \left(\frac{Q * n * 2^{13/3}}{\sqrt{S} * 3.1416} \right)^{3/8} \quad Yn = \frac{1.316}{D^{0.356}} * \left(\frac{Q * n}{\sqrt{S}} \right)^{0.508}$$

Para el diseño de canales cerrados que funcionan a mitad del diámetro se simplifican las fórmulas de los parámetros Hidráulicos como se muestra anteriormente.

2.7 Cunetas

Son zanjas paralelas después de las bermas su función es de recoger las aguas provenientes de las plataformas y los taludes de la vía urbana y llevarlas en el tiempo más corto fuera de la obra. La sección definitiva de la cuneta estará dada en función del área hidráulica, a un borde libre que se debe dar entre 5 y 10 cm. Encima del tirante y las condiciones geométricas generales de la sección de la cuneta.

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

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

2.7.1 Procedimiento de Cálculo

En forma inicial se procedió a la obtención de la Intensidad de precipitación correspondiente al periodo de retorno de 25 años y a un intervalo igual al tiempo de concentración que para el diseño del drenaje longitudinal se tomó un $t_c = 10\text{min}$.

$$hd_T = Ed_{pond} \left(\frac{t}{12} \right)^{0.2} * (1 + Kd_{pond} * \log(T))$$

$$Hdt = 55.97 \text{ (mm)}$$

Donde:

hdt = Precipitación máxima diaria para un determinado periodo de retorno [mm.]

T_c = Tiempo de concentración, se adoptó el valor de 10 min

T = Periodo de retorno igual a 25 años.

$$i_{\max} = \frac{hdt}{T_c} = \frac{55.97 \text{ mm}}{0.166667 \text{ hr}} = 335.82 \text{ mm/hr}$$

$i_{\max}$ = Intensidad máxima de la lluvia para un periodo de duración igual a T_c

hdt = Precipitación máxima diaria

T_c = Tiempo de concentración, se adoptó el valor de 10 min.

Con el valor de la intensidad máxima se prosigue a calcular el caudal de aporte con el cual se realizara el diseño hidráulico.

$$Q = \frac{27.52 * C * i * A}{1000}$$

Donde:

Q = Caudal máximo de escorrentía [$\text{m}^3/\text{seg.}$]

C = Coeficiente de escorrentía [a dimensional] (ponderado)

$i_{\max}$ = Intensidad máxima de la lluvia

A = Área de aporte [Has.] (Derecho de vía, calzada, berma)

CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DEL ESTUDIO DE TRÁFICO

3.1 Elementos Generales de Tráfico

Los cuatro componentes principales de la modalidad de transporte por cualquier tipo de vía son: **el conductor, el peatón, el vehículo y la vía**. Para suministrar un transporte eficiente y seguro es esencial un conocimiento de las características y de las limitaciones de cada uno de estos componentes con objeto de determinar los efectos, que ejercen entre sí. Sus características son también de importancia primordial cuando van a utilizarse medidas de la ingeniería de Tráfico en la modalidad de carreteras y vías urbanas tales como los dispositivos de control de tránsito.

3.1.1 Conductor

Características del Conductor.- Un problema que enfrentan los ingenieros de Tráfico cuando consideran las características del conductor durante el diseño son las diversas habilidades y la capacidad de percepción. Esto se demuestra por el amplio rango de habilidades que tienen las personas para oír, evaluar y reaccionar a la información. Algunos estudios han demostrado que estas habilidades también pueden variar en una persona bajo diferentes condiciones, tales como: la influencia del alcohol, el cansancio, la hora del día, estado de ánimo etc. Por tanto es importante que los criterios que se usen para propósitos de diseño sean compatibles con las capacidades y las limitaciones de la mayoría de los conductores en las vías.

El proceso de la Respuesta Humana.- Las acciones que toman los conductores en una vía provienen de la evaluación y reacción a la información que obtienen de ciertos estímulos que ellos oyen o ven. Sin embargo la evaluación y la reacción deben desarrollarse en un periodo muy corto, ya que la información que recibe cambia continuamente. Se ha sugerido que la mayor parte de la información recibida sea visual, lo que implica que la capacidad visual es de importancia fundamental en la

tarea de manejo. Por tanto es importante que los ingenieros de Tráfico tengan algún conocimiento fundamental de la percepción visual así como de la percepción auditiva.

3.1.1.1 Visión

Las principales características del ojo son la agudeza visual, la visión periférica, la visión de los colores, visión de deslumbramiento, recuperación, y percepción de la profundidad.

3.1.1.2 Defectos de la Visión

Agudeza visual.- La agudeza visual es la capacidad para ver los detalles finos de un objeto. Hay dos tipos de agudeza visual que son importantes en las emergencias de tránsito y vehicular: la agudeza visual **estática** y la **dinámica**. La capacidad del conductor para identificar un objeto cuando ambos, conductor y objeto están inmóviles, depende de su agudeza estática. Los factores que afectan a la agudeza estática incluyen brillantez y el tiempo. Cuando otros factores visuales se mantienen constantes a un nivel aceptable, el tiempo óptimo requerido para la identificación de un objeto que no tiene movimiento relativo varía entre 0.5 y 1 segundo.

Visión periférica.- La visión periférica es la capacidad de las personas para ver los objetos más allá del cono de visión de mayor claridad. Aunque los objetos puedan verse dentro de esta zona, los detalles y los colores no son claros. El cono de la visión periférica podría proporcionar hasta 160°; este valor está afectado por la velocidad del vehículo. La edad del conductor también influye en la visión periférica.

Visión de los colores.- La visión de los colores es la capacidad para diferenciar los colores pero la diferencia de esta capacidad, generalmente conocida como **acromatopsia o daltonismo**, no tiene mucha importancia en el manejo en una vía porque hay otras formas de conocer los dispositivos de información de tránsito (por

ejemplo, la forma, el tamaño, etc.) que pueden compensarla. Se ha demostrado que el ojo tiene la máxima sensibilidad en las combinaciones del blanco - negro y de negro - amarillo.

Visión de deslumbramiento y recuperación.- Existen dos tipos de visión de deslumbramiento la **directa** y la **espectacular**. **Rowland** y otros han señalado que el **deslumbramiento directo** se presenta cuando aparece en el campo de visión de la persona una luz relativamente brillante y que el **deslumbramiento espectacular** se presenta cuando en el campo de visión aparece la imagen reflejada por el brillo relativo de la luz.

Ambos tipos de deslumbramiento conducen a una disminución de la visibilidad y causan incomodidad en los ojos. También se sabe que la edad tiene un efecto importante en la sensibilidad al deslumbramiento y que a la edad de 40 años se presenta un cambio importante en la sensibilidad al deslumbramiento de una persona.

El tiempo que necesita una persona para recuperarse de los efectos del deslumbramiento después de que ha pasado la fuente luminosa se conoce como **recuperación del deslumbramiento**. Algunos estudios han demostrado que este tiempo es aproximadamente de 3 segundos cuando se pasa de la oscuridad a la claridad y que puede ser de 6 segundos o mayor al pasar de la claridad a la oscuridad. La visión de deslumbramiento tiene importancia durante el manejo nocturno, ya que contribuye al problema de ser útil de las personas de la tercera edad, quienes tienen una visión nocturna muy disminuida. Debe considerarse este fenómeno en el diseño y la ubicación de las luminarias en las calles, para reducir al mínimo los efectos del deslumbramiento.

Los efectos del deslumbramiento pueden minimizarse al reducir la brillantez de la luminaria y al aumentar la brillantez de fondo en el campo visual del conductor.

Percepción de la Profundidad.- La percepción de la profundidad afecta la capacidad de una persona para estimar la velocidad y la distancia. Es especialmente importante en las vías de acceso y salida de las rotondas durante las maniobras, precisamente cuando pueden ocurrir accidentes por colisión debido a la falta de una apreciación de la velocidad y de la distancia. La capacidad del ojo humano para diferenciar los objetos es fundamental en este fenómeno sin embargo debe considerarse que el ojo humano no es muy eficiente para estimar el valor absoluto de la velocidad, la distancia, el tamaño y la aceleración. Ésta es la razón por la cual los dispositivos de control de tránsito tienen un tamaño, una forma y un color estandarizados que ayudan no solamente para la estimación para la distancia sino también al conductor daltónico para identificar las señales.

Percepción auditiva.- El oído recibe estímulos sonoros lo cual es importante para los conductores especialmente cuando deban detectarse sonidos de advertencia emitidos por los vehículos de emergencia. La pérdida de cierto grado de capacidad auditiva no es un problema grave, ya que normalmente puede corregirse mediante aparatos auditivos.

3.1.1.3 Reacciones Físicas y Psicológicas

Hay dos tipos de reacciones en el individuo: la **reacción física o condicionada** y la **reacción Psicológica**.

La **reacción física o condicionada** está relacionada con el sector de conductores que han desarrollado ciertos hábitos. A las personas que están acostumbradas a utilizar cierta ruta especial, determinada calle o avenida, se les desarrolla un hábito que se convierte en destreza. Pueden llegar a cierto cruce y prever el peligro; pueden tener en cuenta cosas que la persona que pasa por primera vez no advierte. Entonces esas personas han desarrollado cierta habilidad, a la vez que una reacción condicionada, por haber usado esa ruta muchas veces.

La **reacción psicológica**, en cambio, es un proceso intelectual que culmina en un juicio. Se trata de estímulos que son percibidos y enviados al cerebro. Después de obtener una reacción se llega a una decisión para actuar. Son reacciones intelectuales del individuo, pero están afectadas por las emociones y otras causas que pueden modificar las facultades del mismo.

Se puede imaginar el diagrama de cómo llegan esas emociones, esos estímulos al cerebro a través de los órganos sensitivos del hombre: tacto, oído, vista, etc. Esas emociones envían un mensaje al cerebro, éste tiene que reaccionar mediante un proceso intelectual y tomar una decisión para actuar; finalmente, manda la orden al músculo apropiado, que actúa de inmediato.

Hay un tiempo mínimo de reacción en estos procesos este tiempo de reacción es el que corresponde al estímulo simple, es decir no a una situación complicada, sino a una situación cuando existe un estímulo único. Se llama en este caso, estímulo, a cualquier emergencia que se presente en la vía o en la calle: un peatón que cruza, un animal, una desviación cualquier obstáculo, etc. Es el estímulo que percibe el usuario y que lo anima a actuar.

El tiempo mínimo de reacción que se ha encontrado en el promedio de los individuos, cuando el vehículo no está en movimiento, es de 0.25 segundos. Este tiempo es, por ejemplo, el que tarda un conductor que está parado en espera del cambio de luz del semáforo, para reaccionar cuando pase de rojo a verde y coloque velocidad de arrancar el vehículo. De acuerdo con pruebas que se han efectuado con semáforos aislados, los tiempos promedio de reacción fueron los siguientes: 0.25 segundos cuando el vehículo está inmóvil y 0.83 segundos, para el vehículo en movimiento de las circunstancias del tránsito y las velocidades. Se vio que en algunos casos podía llegar hasta 2 o 3 segundos.

Los factores que pueden modificar las facultades del individuo en el tiempo de reacción son los siguientes:

- La fatiga
- Las enfermedades o deficiencias físicas
- El alcohol y las drogas
- Su estado emocional
- El clima
- La época del año
- Las condiciones del tiempo
- La altura sobre el nivel del mar
- El cambio del día a la noche y viceversa.
- Las condiciones del motorizado.

Entre las reacciones del usuario, se ve que el caso más usual es el de reacción condicionada: todos los usuarios, unos más, otros menos, tienen cierta experiencia, cierto número de horas de conducir, cierto entrenamiento, etc., y sus reacciones son condicionadas, por esa causa.

De ahí que experimentos realizados hayan dado conclusiones muy interesantes. Por ejemplo: el hecho de que un semáforo este durante años colocado en cierta posición, conocida de los conductores, es fundamental, ya que si los semáforos fuesen cambiados de lugar repentinamente vendría la confusión en las intersecciones. Igual cosa sucede con las calles de dos sentidos, que de un día para otro son cambiadas a un sentido de circulación. El usuario, que responde a reacciones condicionadas, ve de repente su ambiente cambiado; se encuentra con que ayer podía cruzar en dos sentidos por esa calle y hoy solo puede hacerlo en uno, se produce una confusión.

3.1.2 Peatón

Es importante estudiar al peatón porque no solamente es víctima del tránsito, sino también una de sus causas. Podemos considerar como usuario o peatón potencial a la población en general desde individuos de 1 año hasta los 100 años. Es decir debemos considerar como usuario peatón desde aquellos niños que están dando sus primeros

pasos y que son transeúntes en las calles y avenidas hasta aquellos ancianos que estando en los últimos años de vida también son parte del conjunto que hace uso de las vías, por lo tanto, a todos nos interesa este aspecto.

De acuerdo a las investigaciones que se han realizado, se comprobó que hasta la fecha el usuario o peatón tiene todavía dificultades para trasladarse en forma más adecuada, acorde a esta era motorizada en las ciudades y vías.

Todavía en nuestros días podemos ver que un conjunto de peatones no sabe cuál es el momento de cruzar una intersección, realizar cruces indebidos en el centro de las calles, no hacer uso de las franjas peatonales, aun caminar por las calzadas de las aceras, etc. Sin duda esta realidad induce a la necesidad de proyectar programas de educación vial, sin cuyo apoyo será difícil mejorar al elemento peatón dentro del problema de tráfico.

En el análisis de este elemento se debe tomar en cuenta el comportamiento en los diferentes puntos de concurrencia de los centros urbanos es decir, existen centros o puntos como los mercados, plazas, plazuelas, parques, centros deportivos, etc. donde el análisis de flujo peatonal es lo más importante para la implementación de alguna señalización con respecto al flujo peatonal.

3.1.2.1 Habilidad Del Peatón

El peatón no se ha asimilado al medio; en general, aún no ha comprendido lo que significa el transporte automotor. En las actividades comunes del peatón en las calles, en la vida diaria, sigue existiendo una situación anormal. Esto se nota más claramente con gente que viene de otros medios, como el provinciano que llega a una ciudad y se ve indeciso esperando un momento oportuno, sin saber de qué lugar vienen los vehículos tratando de cruzar repentinamente en forma rápida.

Estudiando el espacio destinado a la circulación de peatones en las aceras se ha llegado a estas cifras: en cada 55 cm. de ancho se pueden alojar de 1100 a 1600 peatones por hora. Esa capacidad de las aceras quiere decir que en cada 55 cm. podemos alojar una fila de peatones, con dicho volumen horario. Si se pudiera prever el volumen de peatones que va a tener cierta sección comercial de la ciudad, se tendría que partir de esta base para proyectar el ancho de nuestras aceras. También se puede medir, la deficiencia de las aceras actuales. Se sabe que muchas de las aceras, más que todo en el centro urbano, son insuficientes, o que no llenan el requisito de capacidad, por lo que se tiene que tomar medidas tendientes a mejorar sus condiciones. Concluimos que el peatón necesita darse cuenta de que el vehículo es un objeto de su vida y así como enseñamos a los niños a leer y a escribir, necesitamos enseñarle a depender de él y a incluirlo en su vida diaria.

En todo estudio de tráfico debe interesarnos la población usuaria de las calles o avenidas, para lo cual se debe tomar información de los datos censales.

Tabla 3.1 Censo de Población y Vivienda 2001

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

Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

3.1.3 Vehículo

3.1.3.1 Factores de Importancia de un Vehículo

El elemento vehículo es el que más ha evolucionado desde su aparición y ha ido cambiando al pasar del tiempo adquiriendo mayores velocidades, mayor potencia, mayor maniobrabilidad, etc.

Un vehículo es importante conocerlo desde diferentes puntos de vista, como ser:

- a) Características físicas
- b) Uso o utilización del vehículo
- c) Características que inciden en la circulación

a) Características Físicas

Las características físicas que interesan del vehículo para estudiarlo como un elemento de tráfico son sus dimensiones de alto, ancho, largo y el peso, aunque este último factor no tiene incidencia directa en la ingeniería de tráfico, pero sí indirectamente en la composición vehicular donde los vehículos pesados tienen su incidencia en la velocidad, en el volumen, en la capacidad, en los niveles de servicio, etc. En cuanto a las dimensiones la tendencia de los vehículos livianos a través de los años ha sido reducir el tamaño y reducir el peso aunque en vehículos estén destinados al transporte de carga y pasajeros a mayor escala ha existido un incremento de las dimensiones y también de sus pesos.

b) Uso o Utilización del Vehículo

Otro de los factores desde el cual se debe realizar un análisis al vehículo es de acuerdo a su peso o utilización, ya que en la práctica los vehículos tienen una diversidad de usos de los cuales también depende el comportamiento del tráfico.

Desde el punto de vista del tráfico, hay dos tipos de vehículos:

El Transporte de Carga.- Es aquel que tiene como objetivo transportar grandes volúmenes de carga de los puntos de producción a los puntos de consumo, de estos vehículos un gran porcentaje están catalogados como camiones y entre ellos de diversos tipos o modelos como ser camiones de dos ejes, con ejes duales, con eje triden, con semirremolque y con remolque, las camionetas de menor tonelaje en su

capacidad que son usadas para transportar carga dentro del área urbana o a distancias relativamente cortas.

El Transporte de Pasajeros.- Es otro uso que se le da al transporte público. Los pasajeros son transportados de un lugar a otro entre centros urbanos que generalmente hacen el uso de autobuses cuya capacidad sea de 40 a 50 asientos y dentro del radio urbano el uso de vehículos de menor capacidad de 18 a 30 asientos, cuyos recorridos son normalmente cortos.

c) Características que Inciden en la Circulación

Existen otras características de los vehículos por ejemplo:

- La potencia
- La velocidad
- El radio de giro
- Distancia de frenado
- Costo de operación

La Potencia.- Es la cantidad de esfuerzo necesario para poner en movimiento un vehículo, en los vehículos a combustión interna está ligado el número de giros que se producen en el par motor cuya relación es proporcional. Para tener un mayor número de giros se requiere mayor esfuerzo que está dado por el mayor número de revoluciones en el par motor. La potencia de los vehículos resulta una característica importante debido a que existen vías que están por encima de 5000 m. sobre el nivel del mar, donde la oxigenación es diferente y reduce la capacidad de combustión en los vehículos, por ello ya hace muchos años Bolivia importa vehículos cuyas características de fábrica estén hechas para circular en calles o carreteras a una mayor altura sobre el nivel del mar.

La Velocidad.- Es también un factor propio del vehículo, la tendencia de la tecnología de los fabricantes ha sido el incremento de la velocidad en los vehículos, lo que de alguna manera ha superado el efecto que podrían producir dentro de la circulación del tráfico. Sin embargo todavía se puede encontrar vehículos de diferentes características de velocidad dentro de una misma vía, lo que ocasiona que vehículos de menor velocidad obstruyan el flujo de vehículos que van a mayor velocidad.

El Radio de Giro.- Es la trayectoria que sigue un vehículo al girar su eje delantero de tal manera que tenga una trayectoria circular que marque el espacio necesario para cambiar de sentido en un ángulo de 180° o para girar un vehículo en una trayectoria curva. Los diferentes fabricantes de vehículos han tenido el criterio de mejorar las condiciones de giro de la mayoría de los vehículos de tal manera que se facilite las maniobras en trayectorias curvas. Este factor es más incidente en la circulación de áreas urbanas donde pueden provocar detenimientos y congestionamiento vehicular los vehículos con insuficiencia de radio de giro.

Distancia de Frenado.- Se entiende por distancia de frenado aquella longitud necesaria para que un vehículo en movimiento ante la presencia de un obstáculo pueda parar a través de la acción de frenado.

La distancia de frenado está compuesta de dos partes, la primera que corresponde a la distancia que recorre en el tiempo de percepción y reacción ante la presencia del obstáculo y la segunda que es la distancia correspondiente a la acción del frenado propiamente dicha desde que el momento que se oprime el pedal hasta que el vehículo queda detenido, la relación que nos permite la determinación de la distancia de frenado es:

$$d_o = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{V^2}{254 (f \pm i)}$$

V = velocidad de diseño

t = tiempo de percepción y reacción (2 - 2.5)

i = pendiente longitudinal de la vía

f = factor de fricción entre el vehículo y el pavimento, usualmente 0.4

Costo de Operación.- Los costos de operación son en realidad la cantidad de dinero por unidad de distancia de movimiento de cualquier tipo de automóvil que este en circulación por una carretera o cualquier calle urbana. Para estimar el costo de operación de cualquier vehículo se debe tomar en cuenta una serie de elementos que intervienen en este costo como ser combustible, aceite, mantenimiento, reparación, operación, amortización, depreciación, impuestos y seguro.

Dependiendo del tipo de vehículo y el uso que tienen se puede determinar los costos de operación en base a todos los elementos antes mencionado o en sus casos a algunos de ellos.

No es muy fácil determinar los costos de operación debido a la diversidad en los vehículos, diferencias en las vías en que circulan y diferentes usos del automóvil sin embargo para fines específicos se puede determinar un vehículo tipo de análisis que nos representara un valor confiable para vehículos de características similares.

3.1.3.2 Dimensiones de los Vehículos

- En lo que se refiere a las dimensiones en los vehículos estos tienen una variación de acuerdo a cada marca, el tamaño y función que cumple. Con el fin de tocar este factor de dimensiones, se pueden clasificarlos y dar a conocer sus dimensiones correspondientes en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Dimensiones de los Vehículos

TIPO DE VEHÍCULO	ANCHO (m)	LONGITUD (m)
Automóviles Grandes	1.90-2.00	5.35-5.60
Automóviles Medianos	1.75-1.95	4.65-5.05
Automóviles Chicos	1.55-1.60	4.00-4.40
Camiones	2.40-2.50	6.10-10.65
Camiones con Semirremolque	2.13-2.47	7.95-15.20
Camiones con Remolque	2.40-3.82	9.45-18.30

Fuente: Instituto de Ingenieros de Tránsito

3.1.3.3 Distancia Para Detener un Vehículo

La distancia total para detener un vehículo, llamada distancia de parada (D_p), depende de los tiempos de percepción, de reacción y de frenado. Se expresa como:

$$D_p = d_p + d_r + d_f$$

Donde:

D_p = Distancia de parada

d_p = distancia recorrida durante el tiempo de percepción

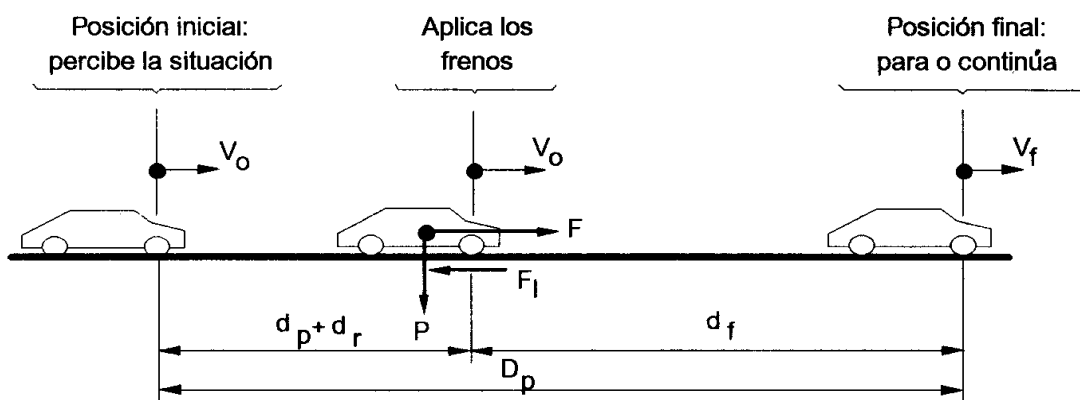
d_r = distancia recorrida durante el tiempo de reacción

d_f = distancia recorrida durante el tiempo de frenado

La distancia recorrida durante los tiempos de percepción y reacción ($d_p + d_r$), se lleva a cabo mediante el proceso denominado PIEV (Percepción, Intelección, Emoción, Volición), que describe los cuatro componentes de la reacción en respuesta a un estímulo exterior:

- 1) **Percepción.-** Impresión material producida en los sentidos por un estímulo exterior. Es una recepción sensorial de información; se percibe la situación. Para un conductor, es el intervalo de tiempo comprendido entre la aparición del objeto exterior y su reconocimiento a través de su sensación visual.
- 2) **Intelección.-** Acto de entender o concebir; se entiende la situación. Es el tiempo necesario para comparar y registrar las nuevas sensaciones.
- 3) **Emoción.-** Agitación del ánimo producto de la percepción y el entendimiento de la situación. Durante este tiempo el conductor utiliza el juicio y la experiencia para tomar una actitud o llegar a una decisión.
- 4) **Volición.-** Acto por el cual la voluntad determina hacer algo. Es el tiempo necesario para llevar a la acción la decisión tomada. Los diferentes componentes para el cálculo de la distancia de parada, D_p , aparecen esquematizados en la figura 3.1.

Figura 3.1 Distancia para Detener un Vehículo



Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

Dependiendo de la complejidad del problema y de las características del conductor, el tiempo de percepción - reacción, t_{pr} , o tiempo durante el PIEV, t_{PIEV} , varía entre 0.5 y 4.0 segundos. Para fines de proyecto y de cálculo se emplea un valor promedio de 2.5

segundos. Durante este tiempo se considera que la velocidad del vehículo, V_o , se mantiene constante, pues su variación es muy pequeña. Por lo tanto, la distancia de percepción-reacción, $d_p + d_r$, para movimiento uniforme es:

$$d_p + d_r = V_o = V_o(t_{PIEV})$$

$$d_p + d_r = V_o \text{ (Km/h)}(2.5 \text{ seg})(1000\text{m}/1 \text{ Km})(1 \text{ h}/3600 \text{ seg})$$

$d_p + d_r = 0.694 * V_o$

La distancia de frenado, d_f , depende de muchos factores: la fricción entre llantas y pavimento; el peso del vehículo; el número de ejes; el tipo de pavimento; etc. Sin embargo, estableciendo ciertas condiciones, es posible calcular dicha distancia.

La potencia de frenado del vehículo y la fricción longitudinal entre las llantas y el pavimento, controlan su capacidad para disminuir la velocidad o parar. Un vehículo que se aproxima a un ALTO con el motor desengranado y sin la aplicación de los frenos, es decelerado solamente por la resistencia al rodamiento y la resistencia del aire.

Cuando la anterior maniobra es realizada por el vehículo con el motor engranado, la deceleración se lleva a cabo con la resistencia al rodamiento, la resistencia del aire y la resistencia del motor. Ensayos hechos para medir la deceleración con el vehículo engranado y sin la aplicación de los frenos, indican que varía de 3.5 Km. /h a 1.4 Km. /h, para velocidades comprendidas entre 110 Km. /h y 30 Km. /h, respectivamente.

Adicionalmente, si se aplican los frenos, aparece una cuarta resistencia, denominada resistencia por fricción en el frenado. En el caso de que los frenos sean aplicados súbitamente, las llantas quedarán bloqueadas o inmovilizadas y el vehículo derrapará.

La longitud de las huellas dejadas por las llantas sobre el pavimento, permitirá conocer la velocidad que traía el vehículo al inicio del derrapamiento.

Por lo tanto, la distancia de frenado, df , es recorrida por el vehículo en movimiento uniformemente desacelerado, la cual a partir de la acción mecánica de pisar los frenos en una superficie horizontal y sin tomar en cuenta las resistencias al rodamiento, del aire y del motor, es igual a:

$$df = \frac{Vo^2}{254 * f_1}$$

Donde:

df = Distancia de frenado

Vo = velocidad en el momento de aplicar los frenos

f_1 = Coeficiente de fricción Longitudinal.

Finalmente la distancia de parada (Dp) será:

$$Dp = 0.694 * Vo + \frac{Vo^2}{254 * f_1}$$

Para fines de proyecto, tomando en cuenta coeficientes variables de fricción longitudinal de la siguiente tabla 3.3 se representan valores para las distancias de parada, correspondientes a diferentes velocidades de marcha, condiciones de pavimento flexible mojado y a nivel.

Tabla 3.3 Distancia de Parada en Pavimento Flexible y a Nivel

VELOCIDAD DIRECTRIZ (KM/h)	TIEMPO DE PERCEPCIÓN Y REACCION (seg)	COEFICIENTE DE FRICCION LONGITUDINAL f_l	DISTANCIA DE DETENCION (metros)
30	2.9	0.54	30.72
40	2.8	0.52	43.22
50	2.7	0.50	57.18
60	2.6	0.48	72.87
70	2.5	0.46	90.54
80	2.4	0.44	110.59
90	2.3	0.42	133.43
100	2.2	0.40	159.55
110	2.0	0.39	186.30
120	2.0	0.37	218.88
130	2.0	0.35	262.32
140	2.0	0.33	381.16

Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

Cuando el vehículo tiene una velocidad V_f al final de la aplicación de los frenos, y la calle o carretera sobre la cual ocurre el frenado se encuentra sobre una pendiente longitudinal p , la distancia de frenado df se expresa:

$$Dp = 0.694 * Vo + \frac{Vo^2 - Vf^2}{254 * (f_l \pm p)}$$

Dp =Distancia de parada

Vo = velocidad en el momento de aplicar los frenos

Vf =Velocidad final

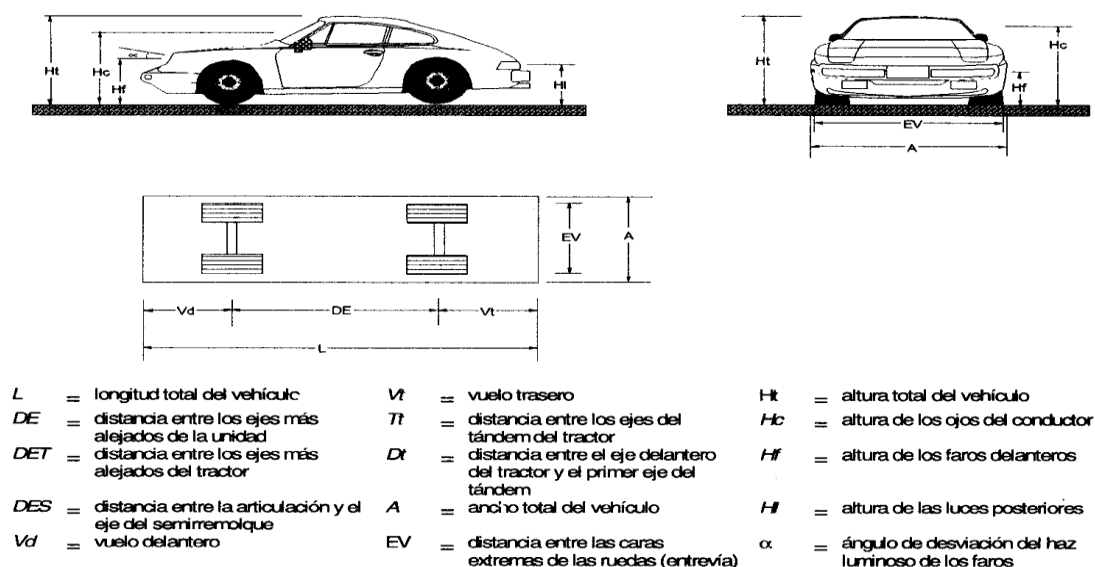
f_l = Coeficiente de fricción Longitudinal.

P =Pendiente longitudinal

El vehículo ligero de proyecto puede ser utilizado en intersecciones menores en zonas residenciales, donde el número de vehículos que realizan vueltas no es significativo. También puede ser utilizado en intersecciones mayores que dispongan de carriles de estacionamiento y cruces peatonales demarcados, los cuales obligan el uso de radios pequeños en las esquinas aún aceptables.

Igualmente, podrá ser utilizado en aquellas áreas urbanas con intersecciones a nivel sobre calles arteriales, siempre que se disponga carriles de cambio de velocidad y que las vueltas de camiones sean ocasionales.

Figura 3.2 Vehículo Ligero



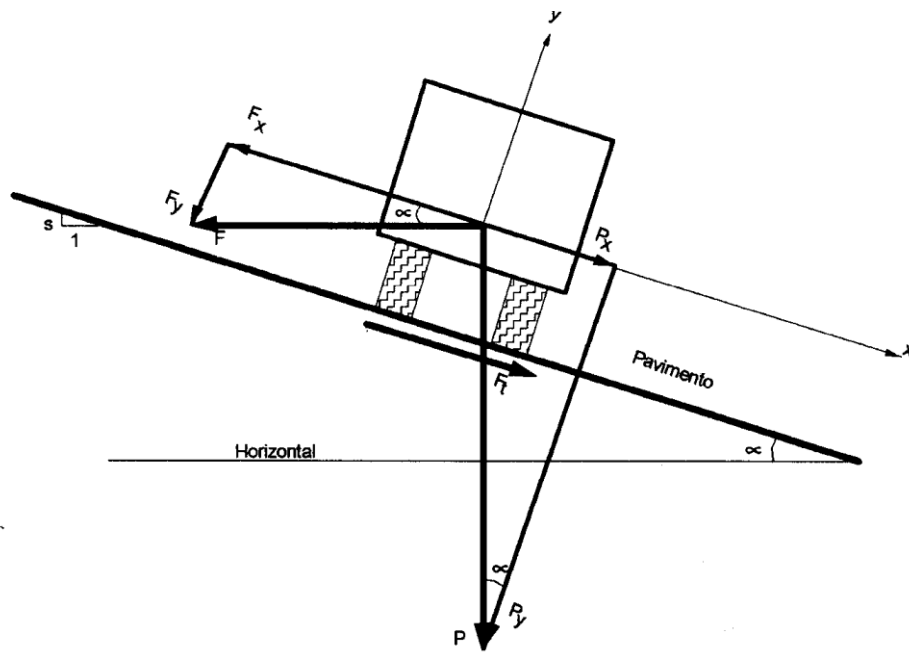
Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

3.1.3.4 Radio y Peralte para el Flujo Vehicular

Las vueltas que se realizan a velocidades inferiores a los 15 Km./h., se consideran como vueltas a baja velocidad. Esta situación se presenta generalmente en intersecciones agudas, donde el radio de las curvas es controlado por las huellas de giro mínimas de los vehículos.

Se consideran como vueltas a alta velocidad aquellas que se efectúan a velocidades cercanas al 70% de la velocidad de proyecto. Esta condición se presenta en las curvas a campo abierto y en las curvas de los enlaces en intersecciones importantes, donde el radio de ellas es controlado por el peralte y la fricción lateral entre las llantas y la superficie de rodamiento.

Figura 3.3 Radio y Peralte para el Flujo Vehicular



Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

3.1.3.5 Estabilidad del Vehículo en Curva

Cuando un vehículo cambia su trayectoria de movimiento rectilíneo a curvilíneo, "se siente una fuerza" que tiende a conservar el movimiento en línea recta. A este impulso inicial se le llama erróneamente, fuerza centrífuga.

Un vehículo se sale de una curva por dos razones que pueden ocurrir independiente, o simultáneamente: ya sea porque el peralte, de la curva no es suficiente para

contrarrestar la velocidad o porque la fricción entre las ruedas y el pavimento falla, se produce el "derrape" o deslizamiento. Las principales causas por las que un vehículo derrapa en las curvas son debido a la presencia de hielo, arena y agua sobre el pavimento.

Cuando un vehículo se desplaza a lo largo de una curva horizontal, actúa sobre él la fuerza centrífuga que tiende a desviarlo hacia afuera de su trayectoria normal, tiende a alterar su movimiento en línea recta.

En la práctica los valores de la sobreelevación son calculados con la expresión:

$$s + f_t = 0.007865 \frac{v^2}{g * R}$$

Donde:

s = Sobre elevación en metros

f_t := Coeficiente de fricción lateral

v = Velocidad Km./hr

g = Aceleración debido a la gravedad

R = Radio de curva circular horizontal

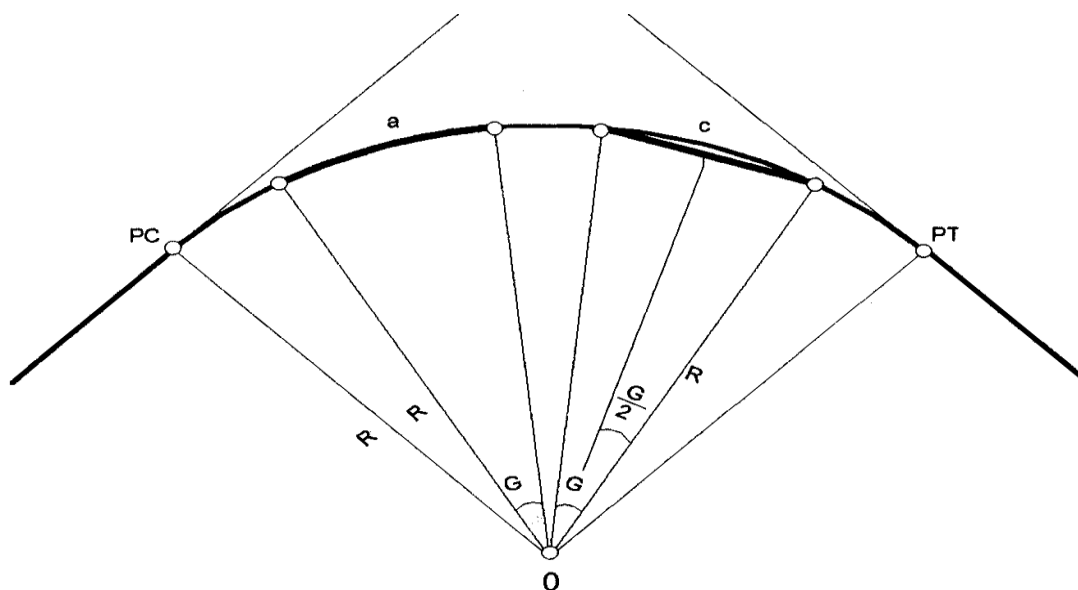
Otro aspecto importante es definir en curvas horizontales, es la expresión de su curvatura. La curvatura de un arco circular se fija por su radio R o por su grado G. Se llama grado de curvatura G al valor del ángulo central correspondiente a un arco o cuerda de determinada longitud.

Grado de curvatura G:

$$G = \frac{1145.92}{R}$$

Como es necesario fijar una sobreelevación máxima, $s_{\max}$ se usa el 12% en aquellos lugares donde no exista heladas ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados corriente de tránsito es mínimo; se usa el 10% en lugares donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados; se usa el 8% en zonas donde las heladas o nevadas son frecuentes y, finalmente, se usa el 6% en zonas urbanas.

Figura 3.4 Grado de Curvatura de una Curva Circular



Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

Establecida la sobre elevación máxima $s_{\max}$, el radio mínimo $R_{\min}$ de la curva queda definido para cada velocidad de proyecto v , a partir de la ecuación:

$$R_{\min} = \frac{0.007865 * v^2}{s_{\max} + f_t}$$

Donde:

$R_{\min}$ = Radio mínimo

$s_{\max}$ = Sobre elevación máxima

V = Velocidad de proyecto

f_t = Fricción lateral

A su vez, el grado de curvatura $G_{\max}$ se establece como:

$$G_{\max} = \frac{146000 * (s_{\max} + f_t)}{v^2}$$

Donde:

$S_{\max}$ = Sobre elevación máxima

V = Velocidad de proyecto

f_t = Fricción lateral

Reemplazando en estas dos últimas ecuaciones, los valores del coeficiente de fricción lateral f_t y la sobre elevación máxima $s_{\max}$ que considere, se calculan los valores del radio mínimo $R_{\min}$ y el grado máximo de curvatura $G_{\max}$ para cada velocidad de proyecto v : estos valores se muestran en la siguiente tabla 3.4:

Tabla 3.4 Radios Mínimos y Grados Máximos de Curvatura

VELOCIDAD DE PROYECTO (v)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN LATERAL (ft)	VALORES PARA PROYECTO							
		Smax = 0.12		Smax = 0.10		Smax = 0.08		Smax = 0.06	
		Rmin	Gmax	Rmin	Gmax	Rmin	Gmax	Rmin	Gmax
30	0.280	17.70	64.75	18.63	61.51	19.66	58.29	20.82	55.04
40	0.230	35.95	31.88	38.13	30.05	40.59	28.23	43.39	26.41
50	0.190	63.43	18.07	67.80	16.90	72.82	15.74	78.65	14.57
60	0.165	99.35	11.53	106.85	10.72	115.57	9.92	125.84	9.11
70	0.150	142.74	8.03	154.15	7.43	167.56	6.84	183.52	6.24
80	0.140	193.60	5.92	209.73	5.46	228.80	5.01	251.68	4.55
90	0.135	249.83	4.59	271.09	4.23	296.31	3.87	326.70	3.51
100	0.130	314.60	3.64	341.96	3.35	374.52	3.06	413.95	2.77
110	0.125	388.43	2.95	422.96	2.71	464.23	2.47	514.41	2.23

Fuente: Ingeniería de Transito de Rafael Cal y Mayor

3.1.4 Vía

Se entiende por vía, aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos. La denominación de vía incluye diferentes vías principales, secundarias (avenidas calles, pasajes). Ciertamente uno de los patrimonios más valiosos con los que cuenta cualquier área urbana, es la infraestructura de sus vías, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Se encontrará siempre que una ciudad de un alto nivel de vida tendrá un excelente sistema vial, una ciudad atrasada tendrá una red deficiente.

El diseño geométrico de las vías y calles, incluye todos aquellos elementos relacionados con el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y los diversos componentes de la sección transversal.

3.1.4.1 Clasificación de una Red Vial

3.1.4.1.1 Clasificación Funcional

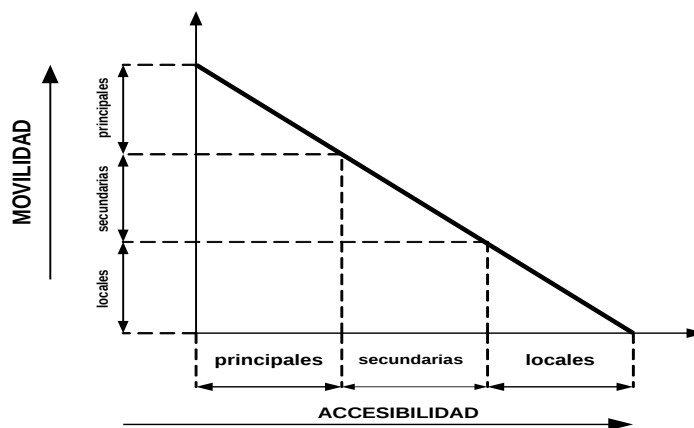
Dentro de un criterio amplio de planeación, las vías urbanas, se pueden clasificar de tal manera que se pueda fijar funciones específicas a las diferentes carreteras y calles, para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías, de una manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades o usos del área colindante.

En términos generales, las carreteras y las vías urbanas, pueden clasificarse funcionalmente en tres grandes grupos:

- Principales (arterias).
- Secundarias (colectoras).
- Locales.

La figura 3.5 presenta en forma gráfica los grados de movilidad y acceso de un sistema vial. En un extremo, las vías y calles principales son de accesos controlados destinados a proveer alta movilidad y poco o nulo acceso a la propiedad lateral, mientras que, en el otro extremo, las vías y calles locales son de accesos no controlados que proveen fácil acceso a la propiedad lateral, pero raramente las utiliza el tránsito de paso.

Figura 3.5 Clasificación Funcional de un Sistema Vial



Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

La clasificación funcional es clave en el proceso de planeación del transporte, ya que agrupa las distintas vías y calles en clases o sistemas de acuerdo al servicio que se espera que presten. La clasificación funcional contribuye a la solución de muchos problemas mediante:

- La determinación de la importancia relativa de las distintas carreteras y calles.
- El establecimiento de las bases para la asignación de niveles de servicio o especificaciones de proyecto.
- La evaluación de deficiencias, comparando la geometría actual o los niveles de servicio con las especificaciones.
- La determinación de las necesidades resultantes.
- La estimación de los costos de las mejoras.

Con la clasificación funcional es posible:

- Establecer sistemas integrados de una manera lógica, agrupando todas las carreteras y calles que deben estar bajo una misma jurisdicción debido al tipo de servicio que ofrecen.
- Asignar responsabilidades para cada clase de vía a nivel gubernamental.
- Agrupar las carreteras y las calles que requieren el mismo grado de ingeniería y competencia administrativa.
- Relacionar las especificaciones geométricas del proyecto con cada tipo de carretera o vía.
- Establecer las bases para programas a largo plazo, implementación de prioridades y planeación fiscal.

3.1.4.1.2 Sistema Vial Urbano

En la figura 3.5 también se ilustra, en términos de movilidad y accesibilidad, la clasificación de un sistema vial urbano. Con el propósito de unificar y simplificar la nomenclatura, se sugiere la siguiente clasificación:

Autopistas y Vías Rápidas: Las autopistas son las que facilitan el movimiento expedito de grandes volúmenes de tránsito entre áreas, a través o alrededor de la ciudad o área urbana. Son divididas, con control total de sus accesos y sin comunicación directa con las propiedades colindantes. Una autopista tiene separación total de los flujos conflictivos, en tanto que una vía rápida puede o no tener algunas intersecciones a desnivel, pero puede ser la etapa anterior de una autopista. Estos dos tipos de arterias forman parte del sistema o red vial primaria de un área urbana.

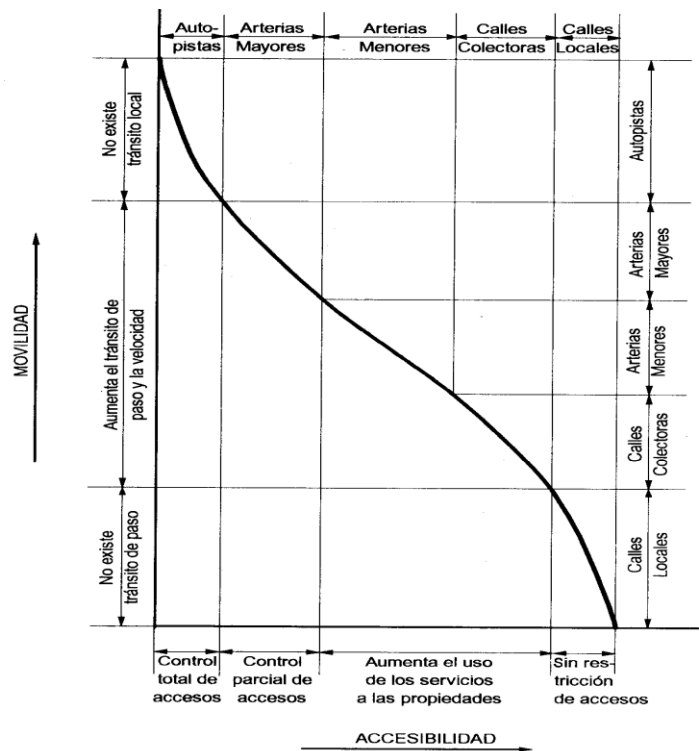
Calles Principales: Son las que permiten el movimiento del tránsito entre áreas o partes de la ciudad. Dan servicio directo a los generadores principales de tránsito, y se conectan con el sistema de autopistas y vías rápidas. Con frecuencia son divididas y pueden tener control parcial de sus accesos. Las calles principales se combinan entre

sí para formar un sistema que mueve el tránsito en toda la ciudad, en todas las direcciones.

Calles Colectoras: son las que ligan las calles principales con las calles locales, proporcionando a su vez acceso a las propiedades colindantes.

Calles Locales: proporcionan acceso directo a las propiedades, sean éstas residenciales, comerciales, industriales o de algún otro uso; además de facilitar el tránsito local. Se conectan directamente con las calles colectoras y/o con las calles principales

Figura 3.6 Movilidad y Accesibilidad a un Sistema Vial Urbano



Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

3.2 Ingeniería de Tráfico

3.2.1 Volumen de Tráfico

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

3.2.1.1 Transito Promedio Anual (TPDA)

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

1. La estimación del ingreso, debida a los usuarios de las carreteras de peaje.
2. El cálculo de las tasas de accidentes en términos de accidentes por millones de millas-vehículo.
3. Establecimiento de las tendencias de volumen de transito.
4. Evaluación de la factibilidad económica de los proyectos de carreteras.
5. Desarrollo de autopistas y de sistemas de calles arteriales principales.
6. Desarrollo de los programas de mejora y mantenimiento.

3.2.1.2 Transito Promedio Diario (TPD)

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

1. La clasificación funcional de las carreteras.
2. El diseño de las características de una carretera, por ejemplo, número de carriles, señalización de las intersecciones o canalización.
3. Los análisis de capacidad.

4. El desarrollo de programas relacionados con las operaciones de tránsito por ejemplo, sistemas de calles de un solo sentido de las rutas.
5. Regulación del desarrollo de estacionamientos.

3.2.1.3 Tránsito Promedio Horario (TPH)

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

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

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

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

3.2.1.4 Volumen Horario

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

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

3.2.1.5 Volumen Directriz

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

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

3.3 Velocidad

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

3.3.1 Velocidad de Punto

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

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

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

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

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

Donde:

VP = velocidad de punto

d = distancia de recorrido

t = tiempo de recorrido

3.3.2 Velocidad de Recorrido Total

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

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

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

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

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

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

Donde:

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

tc = tiempo de circulación (hr)

td = tiempo de demoras (hr)

dr = distancia de recorrido total (km)

3.3.3 Velocidad de Crucero

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

Esta velocidad de crucero nos permite hacer una comparación y análisis con las velocidades de punto ya que ambos tienen la misma concepción, son velocidades de

vehículos en movimiento, su diferencia está que el uno tiene un entorno de flujo libre y el otro tiene un entorno de vehículos en un flujo de circulación.

El análisis nos permitirá determinar las pérdidas de velocidad en diferentes puntos de estudio que sufre la velocidad de recorrido por efecto del entorno en movimiento. La relación que nos permite determinar la velocidad de cruce es la siguiente.

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

Donde:

VC = velocidad de cruce

dr = distancia de recorrido total

tc = tiempo de circulación

3.3.4 Velocidad de Directriz o de Diseño

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

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

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

3.3.5 Velocidad de Circulación Media

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

3.3.6 Métodos de Medición de Velocidades

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

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

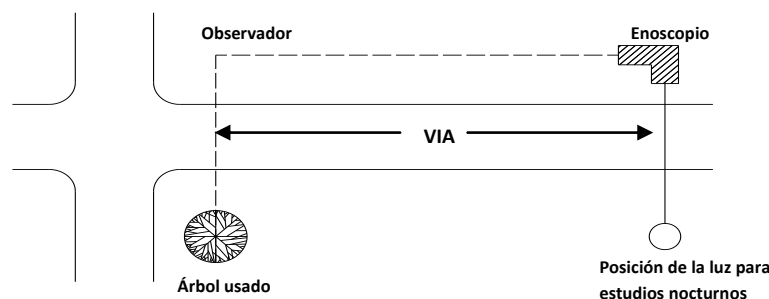
El método del cronómetro (manual).- es aquel que utiliza generalmente dos operadores, una a la entrada provisto de algún dispositivo para dar la señal en el momento que el vehículo ingresa a la línea de entrada para que el segundo operador ubicado en la línea de parada final pueda accionar el cronometro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

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

El método del enoscopio.- se utiliza además del cronometro un aparato simple denominado enoscopio que es una caja de lados iguales en uno de sus vértices tiene un espejo ubicado a 45° de tal forma que la visual de entrada se refleja en forma

ortogonal a 90° la forma de medición utilizando el enoscopio en el momento en que el vehículo cruza la línea de entrada para accionar el cronometro y medir el tiempo hasta que el vehículo cruza la línea de salida. Este método es muy útil para la realización de mediciones nocturnas.

Figura 3.7 Método del Enoscopio



Fuente: Ingeniería de Tránsito de Rafael Cal y Mayor

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

3.3.7 Velocidad a Considerar

Es condición indispensable que los vehículos circulen a velocidad uniforme en la rotonda para que las maniobras de entrecruzamiento puedan realizarse sin conflictos serios, a cuyo efecto todos los elementos de la intersección deberán estar adecuados a esta velocidad. Pero el problema real reside en fijar el valor de dicha velocidad.

Evidentemente debería estar relacionada con la velocidad directriz de los caminos que se interceptan, porque si se prevé una reducción considerable de velocidad aumentan los riesgos afectando la eficiencia de la intersección. Por otra parte si se fija una velocidad elevada para la rotonda, serán necesario radios muy grandes y por ende consiguientes recorridos viciosos.

La experiencia con rotondas en zonas urbanas han demostrado que ellas se comportan bien para velocidades comprendidas entre 30 y 80 Km. /hr. Para zonas rurales, la AASHTO fija velocidades iguales o sensiblemente menores que la velocidad media de los caminos que acceden a la misma, esa velocidad media V_m guarda con la velocidad directriz V_d la relación dada por la siguiente fórmula:

$$V_m = 16 + (V_D - 16) * [1 - 0.05 * V_D / 16] = V'$$

Donde:

V_m = velocidad media (km/hr)

V_D = Velocidad Directriz (km/hr)

Esta fórmula que da el valor de la velocidad media de marcha V' , permitiría proyectar para velocidades directrices importantes pero necesitaríamos radios muy grandes. Los elementos de diseño compatibles con el buen diseño deben basarse en la uniformidad de la velocidad.

3.4 Método a utilizar para los Aforos de Velocidades

Por ser el método más **viable** y con poco margen de error se empleo el método del **cronometro (manual)** para el cálculo de la velocidad de punto. Realizadas varias pruebas se llego a establecer que se obtienen valores similares de mediciones reiteradas, de un vehículo que transita a una velocidad determinada y constante por todo el tramo de aforo, teniendo un parámetro del método empleado. Se debe prever que la distancia a tomar en el tramo recto sea considerablemente mayor al tramo de medición para poder obtener una velocidad constante en todo el recorrido.

3.5 Estaciones de Aforo

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

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

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

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

3.6 Normas de Diseño a Considerar

Los detalles del diseño de la vía urbana varían con las condiciones físicas del lugar y las del tránsito. Para proveer seguridad y eficiencia en un camino es necesario un control correcto de las velocidades que deben mantenerse dentro de un margen limitado, esto significa controlar las velocidades de entrada y salida, en el propio diseño primero y en la vía urbana en servicio después.

Las características geométricas y técnicas del Diseño de la vía urbana están sujetas a las Normas para el Diseño de Calles y Avenidas de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.

3.7 Capacidad

Concepto de capacidad vial.- En las fases de planeación, estudio, proyecto y operación de carreteras y calles, la demanda de tránsito, presente o futura, se considera como una cantidad desconocida. Una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda es su capacidad u oferta.

Aparte del estudio de la capacidad de las carreteras y calles el propósito que también generalmente se sigue es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de arteria.

La capacidad (q_{max}) se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que este es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable.

La infraestructura vial, sea esta una carretera o vía, puede ser de circulación continua o discontinua. Los sistemas viales de circulación continua no tienen elementos fijos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos, que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo de tránsito, tales como los semáforos, las señales de alto y otros tipos de regulación. Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad.

3.8 Niveles de Servicio

Concepto de nivel de servicio.- Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de nivel de servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/ o pasajeros.

Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad en el volumen, en la composición del tránsito en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

3.8.1 Nivel de servicio A

Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la

circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito.

El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón, es excelente.

3.8.2 Nivel de servicio B

Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.

3.8.3 Nivel de servicio C

Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios, La selección de la velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

3.8.4 Nivel de servicio D

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de incomodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

3.8.5 Nivel de servicio E

El funcionamiento está en el borde, o cerca del límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil y se consigue forzando a un vehículo o peatón “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es enormemente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

3.6 Nivel de servicio F

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

DISEÑO DE LOS ACCESOS

4 Topografía del Proyecto

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

Se tomó como referencia de partida el punto de control **GPS TAR-01** ubicado en el Barrio Aeropuerto el bulón se encuentra empotrado con una identificación de **IGM-HAM. TJA. NO TOCAR 1999**, y el punto de control **GPS TAR-02** ubicado en el Aeropuerto de Tarija el bulón se encuentra empotrado en la plataforma con una identificación **IGM-HAM. TJA. NO TOCAR 1999** (ver Anexos).

Identificamos como Progresiva 0+00 a la vía existente asfaltada de ingreso a la ciudad de Tarija, para posteriormente definir el diseño geométrico para emplazar los accesos a la nueva terminal de buses.

Los trabajos se realizaron de la siguiente forma:

- Trabajo de Campo
- Trabajo de gabinete

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

4.1 Trabajo de Campo

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

La tarea preliminar consistió en el reconocimiento del terreno con el objeto de que se señale los criterios para realizar el estudio topográfico.

Se realizó el levantamiento topográfico consistente en una planimetría de la zona, donde se muestran el eje de los accesos, el eje de la avenida Panamericana.

4.1.1 Precisión del Instrumento Utilizado

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

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

4.1.2 Levantamiento Preliminar

Este levantamiento tuvo el objetivo de proporcionarnos todos los datos necesarios para la confección del plano de planta, perfil longitudinal y perfiles transversales para trazar el eje definitivo de los accesos, calcular el movimiento de tierras, etc.

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

4.1.3 Levantamiento Topográfico

- **Metodología**

Se hizo la lectura inicial del punto de control **GPS TAR-01**, para obtener las coordenadas y cotas reales del levantamiento, el cual se constituyen de vital importancia debido a que los mismos nos dan una rejilla de coordenadas planas **UTM** (Datum WGS - 84). Las mencionadas coordenadas en este caso, se convierten en coordenadas reales (no asumidas) que son utilizadas en cartas Cartográficas del IGM (Instituto Geográfico Militar).

Una vez orientada la Estación Total con los puntos **TAR-01**, **TAR-02** mencionados, se procede a la medición (disparos a prismas) de distintos puntos relevantes o de importancia topográfica.

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

El levantamiento se realizó con el ancho de 30 m. a cada lado de un eje tentativo del trabajo topográfico, densificando el área interna con nube de puntos que representen de la mejor manera la superficie del área de estudio.

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

4.1.4 Equipo Empleado

El equipo empleado para la realización del levantamiento se enmarca dentro de los requerimientos más estrictos en la ejecución de este trabajo, éstos son los siguientes:

- Estación Total SOKKIA SET 510.
- Dos Prismas de Reflexión (Infrarrojo).
- Varios de Topografía (Cintas Métricas, Herramientas de Campo; Equipo personal, libretas, etc.).

4.1.5 Trabajo de Gabinete

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

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

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

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

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

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

Las secciones transversales servirán finalmente para el cálculo del movimiento de tierras, en base a la sección transversal de la DOT (Dirección de Ordenamiento Territorial).

4.2 Alineamiento Horizontal del Proyecto

4.2.1 Trazado Definitivo

Elaborado el plano completo de la línea preliminar, se ha proyectado la línea definitiva, se procedió a la determinación de una línea preliminar con pendiente definida donde se utilizó la pendiente menor a la máxima especificada, para que la línea final se ajuste a las condiciones que se esperan.

Se procedió a la identificación del eje de la vía, estaqueando cada 20 metros en rectas y en curvas a distancias de 10 metros, de tal modo que permita la reposición de los mismos con toda seguridad en la etapa de la construcción.

Concluido el trazado de las tangentes, éstas se enlazaron con curvas horizontales circulares de acuerdo a las posibilidades de la topografía del terreno. La nivelación del perfil longitudinal del terreno, se realizó tomando como dato de partida el Banco de Nivel BM- 01 ubicado en la vía asfaltada de ingreso a la ciudad de Tarija. A partir de este punto se fueron colocando puntos de referencia o BMs. Los cuales están identificados en los planos y pintados en obra.

Se nivelaron todas las estacas que definen el perfil longitudinal del eje sobre el terreno y se procedió a levantar los perfiles transversales en las estacas ubicadas cada 20 m., en las mismas se contemplaron todos los detalles requeridos para conseguir los datos que permitan obtener los volúmenes.

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

4.2.2 Curvas Horizontales

Tomando en consideración las normas de diseño de la ABC, a partir de estos factores y tomando la relación que equilibra los factores de radio de curvatura y peralte en curvas horizontales igual a:

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

Donde:

R = radio de curvatura

V = velocidad directriz

P = peralte

La velocidad directriz que ha sido considerado para el diseño geométrico del trazo es de 30 Km./h. debido a que el tramo se encuentra en una zona donde el tráfico es considerado como zona urbana y no deben transitar con alta velocidad.

En el proyecto se utilizaron curvas circulares porque las características del alineamiento no permitirán el diseño de curvas de transición adecuadas.

4.2.3 Peralte

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

La elección del peralte transversal adecuado para una vía urbana debe obedecer a criterios en los que se tenga un equilibrio entre el radio de curvatura, el peralte y el coeficiente de fricción. Para este proyecto el peralte máximo recomendado es de 7%.

4.3 Alineamiento Vertical del Proyecto

4.3.1 Subrasante

Obtenido el trazo definitivo, al mismo se lo determina con el estaqueado, los niveles de cada uno de los puntos obteniéndose de esta manera el perfil longitudinal del eje definitivo cuyas progresivas son cada 20 m. en las rectas y cada 10 m. en las curvas, tomándose también en cuenta otros puntos relevantes como lo son los PC (principio de curva) y FC (fin de curva). Sobre este perfil longitudinal deducido se traza la subrasante, para lo cual se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Puntos obligados en altimetría.
- Pendiente Máxima especificada.

- Compensación de volúmenes de corte y relleno.
- Tratar de mantener la subrasante en suelo firme.

4.3.2 Pendiente Longitudinal

La pendiente longitudinal generalmente es un factor de diseño geométrico que está especificado en concordancia con el resto de los factores, las diferentes normas especifican de alguna manera las pendientes máximas recomendables, en nuestro país de acuerdo a las Normas de la ABC se considero como Pendiente Máxima 10%, la Pendiente mínima es de 0.50%.

4.3.3 Curvas Verticales

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

En cada caso existen relaciones ya definidas que nos permiten determinar las cotas de la rasante en la curva vertical tomando en cuenta su curvatura.

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

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

Curva Simétrica

$$Y = \frac{P * X^2}{2 * L}$$

Curva Asimétrica

$$Y1 = m * (X1/L1)$$

$$Y2 = m * (X2/L2)^2$$

Donde:

P = diferencia algebraica de pendientes

m = ordenada media

L = Longitud de curva vertical

L1 = longitud a la izq. del vértice

L2 = longitud a la der. del vértice

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

4.3.3.1 Longitud Mínima en Curvas Verticales

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

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

Considerando los criterios mencionados y las condiciones del sitio, se adoptaron curvas verticales de 20 m. y 40 m. de longitud, para garantizar una transición suave entre la vía asfaltada de ingreso a la ciudad de Tarija y los accesos a la nueva Terminal de Buses.

4.4 Ancho de Calzada

Existen recomendaciones de las normas nacionales como internacionales respecto a los anchos de carril y bermas para diferentes tipos de vías urbanas, se tomó en cuenta

la sección tipo de la Dirección de Ordenamiento Territorial DOT, que permite un ancho de calzada de 6.50 m. que ha sido adoptado para el diseño de los accesos.

Por otra parte se han considerado aspectos como movimiento de tierras, taludes de relleno, los mismos que se han definido en función de las necesidades del proyecto.

4.4.1 Secciones Transversales

Concluido el alineamiento horizontal y vertical del proyecto, se procedió al cálculo de los volúmenes de movimiento de tierras, para ello fue necesario previamente definir representar las secciones transversales de cada uno de los puntos del eje definitivo.

Para representar las secciones transversales fue necesario definir algunos parámetros como ser: ancho de calzada, pendiente transversal, talud de relleno y sección de cuneta en el programa de cálculo utilizado (Autocad Land).

Para establecer la sección transversal se deben tomar en cuenta el número de carriles, que estará en función del volumen de tráfico, los sentidos de la vía urbana, el ancho de cada carril, cuneta lateral y la inclinación de los taludes de corte y relleno. En el proyecto se consideró una sección tipo proveniente de las oficinas de la Dirección de Ordenamiento Territorial DOT como parámetros importantes de la sección lo siguiente:

Número de Carriles = 2

Número de Sentidos = 2

Ancho de carril = 3.25 m

Calzadas de =6.50 m

Aceras de =3.50 m

Jardinera central=2 m

Pendiente transversal = 2 %

Talud de corte 1: 1 (H/V)

Talud de relleno 2: 1 (H/V)

4.4.2 Cálculo de Áreas y Volúmenes

El cálculo de áreas de las secciones transversales las áreas de corte y relleno. Están registradas en las planillas correspondientes así como, los volúmenes acumulados para el diagrama masa y el balance del movimiento de tierra correspondiente, las planillas de áreas y volúmenes de movimiento de tierras se muestra en anexos, en la sección de cálculos métricos del proyecto.

4.5 Estudio de Tráfico

Para conocer el funcionamiento del tráfico, se realizaron medidas y estudios en las vías existentes, cuyos datos servirán como base en el planeamiento y explotación de las redes viales, en la regulación del tráfico y para investigaciones sobre el efecto de los diferentes elementos de la vía en la circulación de los vehículos.

Las principales características que se estudiaron son: volúmenes de circulación, velocidades y tiempos de recorrido de los vehículos, es necesario establecer la correlación entre las características de tráfico, las condiciones físicas y de movimiento donde circula el tráfico, tanto en el momento actual como sus proyecciones en el futuro.

4.5.1 Velocidad de Punto

4.5.1.1 Aplicación del Método Manual

En gabinete, se define principalmente el diseño de la planilla para los aforos que realizan los observadores en el campo. Se tendrá bien identificados las casillas de la longitud del tramo, composición vehicular, fecha, hora, clima y observaciones del tiempo en segundos.

En el campo o en el sitio de estudio: la longitud del tramo debe ser definida con precisión, se uso un tramo de 25 m. por la conveniencia de convertir metros por segundo a kilómetros por hora.

La ubicación de los estudios de control o aforos será en zonas necesarias para el estudio; por ejemplo, si se lo realiza en una vía urbana, deberá estar en:

- Rectas prolongadas
- Principio de curvas
- Zonas con pendiente elevada
- Ingreso a puentes o zonas de riesgo (como caminos angostos, etc.)
- Zonas de poca visibilidad
- Intersecciones de carreteras
- Ingreso a poblaciones

La determinación de la longitud del tramo debe hacerse de manera que el tiempo mínimo registrado no sea menor de 0.5 segundos.

Los dos observadores se ubican en cada extremo del tramo medido para el estudio, uno de ellos solo se encarga de dar la señal de paso del vehículo por el punto de control (cuando el aforo es realizado en un sentido); el otro ante esta señal del compañero, acciona el cronómetro y lo detiene cuando pasa por el punto de control donde se encuentra ubicado, es también él quien registra el tiempo que tarda y tipo de vehículo que pasa en las hojas de campo.

La característica principal en este tipo de velocidad, es que la distancia definida se toma al vehículo que va a recorrerla en flujo libre, sin interferencia ni demoras. La determinación de la velocidad de punto, dentro del estudio de la ingeniería de tráfico, nos permite definir las velocidades medias de circulación en zonas urbanas.

4.5.2 Aforos de velocidades

Primeramente, se diseña las planillas para los aforos según las necesidades en la que principalmente se detalla los tipos de vehículos: camiones, buses, micros, minibuses, camionetas, vagonetas, jeeps, automóviles y motocicletas. Además de ubicación y longitud del tramo, como muestra la tabla 4.1

Tabla 4.1 Planilla de Velocidad

Operador.....Sentido.....Ubicación.....
Fecha.....Clima.....Hora.....

Tipos de Vehículos	Distancia (m)	Aforo de Tiempo (seg)			Promedio
		7:30 am	12:00 pm	6:00 pm	
Camiones					
Buses					
Micros					
Minibuses					
Camionetas					
Vagonetas					
Jeeps					
Automóviles					
Totales					

Observaciones.....

Fuente: Elaboración propia

El promedio de las velocidades que imprimen los vehículos en el tramo, sobre la avenida panamericana – km5 fueron:

SENTIDO: Norte a Sur de **85,50 km/h.**

SENTIDO: Sur a Norte de **73, 35 km/h.**

4.5.3 Recuento de Volúmenes

4.5.3.1 Aplicación del Método Manual

Para realizar este estudio de volúmenes se siguen tres pasos:

- Equipamiento.
- Identificación de puntos de control o de aforo en la zona de estudio.
- Tabulación de los datos registrados en gabinete.

Equipamiento. Para realizar el estudio de forma correcta y con la mayor precisión posible, se conto con el siguiente material:

- Un tablero
- Planillas de control
- Lápiz y borrador
- Un reloj cronómetro

Precisamente de acuerdo a las necesidades del estudio, ya que éstas servirán de base para el análisis. Los datos más importantes a registrar son: tipo de vehículos (camiones, buses, minibuses, automóviles, etc.) punto de control hora clima operador y observaciones, de ahí que el diseño de las planillas de control es muy importante.

Identificación de puntos de control o de aforo en la zona de estudio. Una vez conocidos los puntos de control, en este se ubicó dos puntos de aforo en la avenida panamericana en intercepción con el primer y segundo acceso, cuyas coordenadas en sentido Norte a Sur es: N 7614494.5333 y E 326534.6984 y de Sur a Norte N 7614502.8209; E 326534.6385 respectivamente.

Tabulación de los datos registrados. Una vez concluido el trabajo de campo, se procede a la tabulación de los datos registrados, es decir estos serán transformados a datos “Diarios” y “Horarios” para su respectivo análisis de tráfico en el estudio que se está efectuando.

4.5.4 Aforos de Volúmenes

Como indica este método manual, primeramente se hizo el diseño de planillas registro de aforos, tabla 4.2, identificando los tipos de vehículos que transitan por la vía sobre la avenida panamericana.

Tabla 4.2 Planilla de Volúmenes

Estación.....Sentido.....Nro.....
 Tiempo.....Fecha.....Clima.....
 Observaciones.....

DESCRIPCIÓN	HORARIOS DE AFOROS			PROMEDIO
	07:30 – 08:30	11:30 – 12:30	18:00 – 19:00	
Automóvil				
Vagonetas + Jeeps				
Camioneta (2 tn)				
Micros (12 a 21 Pers.)				
Bus Medi. (22 a 35 Pers.)				
Bus (> 35 Pers.)				
Camiones (2,5 a 9,5 Tn)				
Camiones Pes.(> 10 Tn)				
Motocicletas				
Otros				
Totales				

Fuente: Elaboración propia

Luego de un procesamiento de los datos de la tabla 4,2 se determino los volúmenes horarios diarios de la avenida que están registrados en el ANEXO II.

4.6 Análisis de Capacidad

Es muy importante analizar las condiciones de operación en las vías urbanas, para realizar el análisis de capacidad, se convirtió los volúmenes horarios a vehículos equivalentes utilizando los factores de equivalencia de la tabla 4.3, la cual nos da el factor medio de equivalencia de distintos tipos de vehículos, en función de la clase de vía que utilizan, en nuestro caso de vías urbanas y así determinar el número de vehículos equivalentes, cuyos resultados se encuentran en el ANEXO IV.

Tabla 4.3 Factores Medios de Equivalencia de Distintos Tipos de Vehículos, en Función de la Clase de Vía que Utilizan.

Tipo de vehículos	CLASE DE VÍAS			
	Rurales (excepto en terreno accidentado)	Urbanas	Tramos de trenzado	Intersecciones con semáforos
Coches	1	1	1	1
Camiones medios	3	1.75	2.8	1.75
Camiones pesados	3	2.5	2.8	1.75
Autobuses	3	3	2.8	2.25
Motos	1	0.75	0.75	0.33
Bicicletas	0.5	0.33	0.5	0.2

Fuente: Ingeniería de Tráfico “Antonio Valdés”

4.7 Cálculo del Nivel de Servicio con Relación a Volumen/Capacidad

El nivel de servicio es una medida cualitativa del efecto de muchos factores que incluyen la velocidad y el tiempo de viaje, las interrupciones del tránsito, la libertad de maniobra, la seguridad, la comodidad y conveniencia del conductor y los costos de operación. En la práctica se definen niveles específicos, en términos de valores límites particulares de algunos de aquellos factores.

El conocimiento de la capacidad de una sección de carretera es absolutamente necesario para proyectarla de forma que permita hacer frente a la demanda prevista,

porque las condiciones de circulación cuando se alcanza la capacidad son muy diferentes.

El cálculo del nivel de servicio fue determinado en función a la relación Volumen/Capacidad, y para conocer el nivel de servicio se verifica los valores obtenidos con los parámetros que se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Nivel de Servicio con relación a Volumen/Capacidad

NIVEL DE SERVICIO	VOLUMEN/CAPACIDAD
A	0.10
B	0.10-0.30
C	0.30-0.50
D	0.50-0.70
E	0.70-1.00
F	Mayor a 1.00

Fuente: Ingeniería de Tráfico “Antonio Valdés”

Como resultado de los cálculos obtenidos en ANEXO IV son:

El carril 1, con sentido Sur a Norte tiene un **Nivel de Servicio “C”**

El carril 2, con Sentido Norte a Sur tiene un **Nivel de Servicio “C”**

4.8 Prognosis de Tráfico para 5 años

En cualquier estudio de tráfico es importante hacer una proyección del mismo. Para lo mencionado se aplica la siguiente fórmula:

$$V_n = V_0 * (1 + a)^n$$

Donde:

V_n = Tráfico en el año n

V_0 = Tráfico inicial

a = Factor anual de incremento de Tráfico % de tabla 4.5

n = Número de años para los que se hace la previsión (5 años)

Los datos necesarios son los volúmenes equivalentes en automóviles, el índice de crecimiento anual más desfavorable del parque automotor; **a=17.13 %** en el año 1999 según la tabla 4.5

Tabla 4.5 Automotor del Departamento de Tarija Hasta Agosto del 2011

POLICIA NACIONAL																
ORGANISMO O. DE TRÁNSITO																
Tarija - Bolivia																
CUADRO ESTIMATIVO DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL DEPARTAMENTO DE																
TARIJA, HASTA AGOSTO/2011																
DETALLE	INCREMENTO DE VEHÍCULOS															
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	TOTAL	
VEH.PARTICULARES																
Automóviles	3791	829	438	74	50	125	80	167	167	165	85	127	180	161	6439	
Ambulancias	1	1													2	
Camiones	4093	540	239	36	18	65	51	71	69	65	55	80	80	390	5852	
Camionetas	3973	611	299	103	66	99	45	94	91	88	50	98	100	104	5821	
Minibuses	36	1			5	10	2	9	9	8	12	15	15	22	144	
Jeeps	1302	152	79	24	29	41	17	47	46	44	20	50	46	54	1951	
Omnibuses	59	0	30	2	1	2									94	
Microbuses	137	63	56	13	14	416	10		0	0	30		0	0	739	
Vagonetas	1984	881	484	134	84	165	83	55	55	53	83	55	65	127	4308	
Motocicletas	1233	61	154	83	24	125	40		0	0	40		0	0	1760	
Tractores						3									3	
VEH.PÚBLICOS																
Automóviles	1357	175	68	20	6	6	3	70	69	63	3	75	78	161	2154	
Ambulancias																
Camiones	989	55	29	7	5	5	3	52	52	48	3	55	62	390	1755	
Camionetas	244	7	2	1			1	9	9	8	1	12	9	24	327	
Minibuses	7					3		3	3	3		3	3	22	47	
Jeeps																
Omnibuses	336	12	3	6	2	1		0				0			360	
Microbuses	227	59	40	25	19	7		10	10	9		10	10	249	406	
Vagonetas	253	61	39	23	19	5	1	12	12	12	1	18	12	127	595	
Motocicletas																
Tractores																
TOTAL VEH. SERV.OFIC.																
Automóviles	1	0	1		1	6	1	2	2	2	1	2	2	2	23	
Ambulancias	18	1													19	
Camiones	122	4			2	1		37	50	114		40	60	165	595	
Camionetas	203	3	1	1	3	3		93	104	113		93	115	153	885	
Minibuses	7	0						5	5	5		5	5	5	37	
Jeeps	105					1		31	31	30		31	41	42	312	
Omnibuses	13														2	
Microbuses	4							2	2	2		2	2	2	16	
Vagonetas	89	4	4	1	5	1		75	75	82		75	80	94	585	
Motocicletas		6		5	2	30									43	
Tractores																
TOTAL INCREMENTO		3526	1966	558	355	1120	337	844	861	914	384	844	965	2296	35287	
TOTAL GRAL.VEHIC	20584	24110	26076	26634	26989	28109	28446	29290	30151	31065	31449	32293	33258	35554		
INDICE DE																
CRECIMIENTO ANUAL		17,13	8,15	2,14	1,33	4,15	1,20	2,97	2,94	3,03	1,24	2,68	2,99	6,90		

Fuente: Organismo Operativo de Tránsito

4.9 Señalización y Control de Tránsito en los Accesos

Definimos a la señalización como un componente metodológico dentro de la ingeniería de tráfico cuyo objetivo es que a través de las señales se mejore la circulación vehicular y peatonal en un trazo urbano o en vías urbanas. Dentro de la señalización se tienen dos grupos importantes que son:

- Señalización horizontal
- Señalización vertical

4.9.1 Señalización Horizontal y su Ubicación en los Accesos

Los tipos de señales horizontales utilizados en el presente estudio de tráfico son los siguientes:

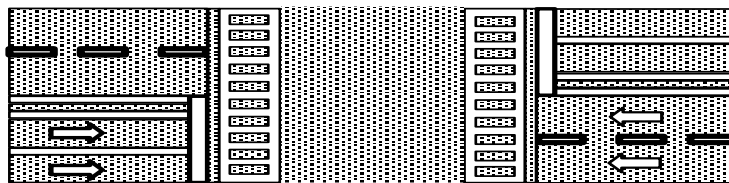
- Cruce de peatones
- Líneas de parada
- Líneas de separación de carriles
- Líneas de demarcación de calzada
- Flechas direccionales
- Líneas de prevención de frenado

4.9.1.1 Cruce de Peatones

El cruce de peatones es una marca en el pavimento que tiene como objetivo establecer un área de seguridad para el cruce de peatones de acera a acera, esta demarcación se lo hizo con pintura de color blanco de dos modalidades: una solamente definida por dos líneas transversales al eje separadas de 1.50 m. a 4.0 m. entre sí y en zona restringida para peatones esta demarcada con segmentos longitudinales de ancho 0.40 m. a 0.50 m. e intercalado, es decir, un segmento pintado, otro sin pintar, etc.

El cruce de peatones está ubicado a 1.20 m. de la línea de parada más próxima y está separada con la línea de parada en 1.0 m. la amplitud del cruce de peatones varía de 1.50 m. a 4.0 m. dependiendo de los ochaves de visibilidad de la intersección, estas señales se encuentran representadas en el plano de señalización.

Figura 4.1 Cruce de Peatones

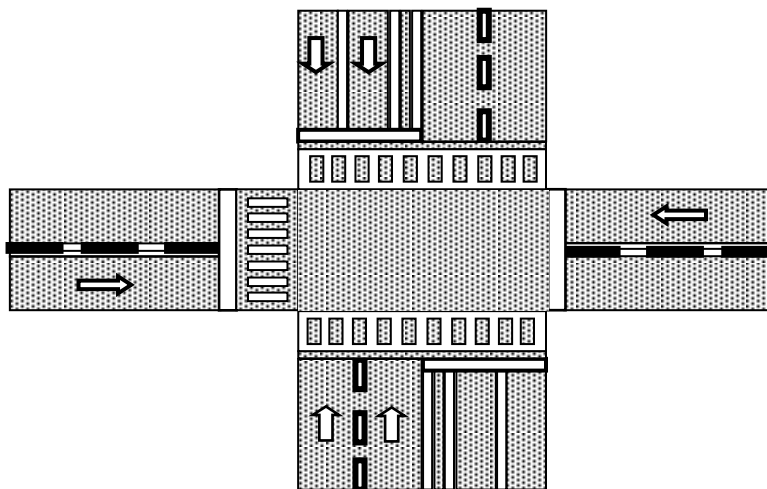


Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.1.2 Línea de Parada

La línea de parada es una señal cuyo objetivo es definir la línea en la cual el vehículo debe detenerse antes de cruzar la intersección, esta línea de parada está acompañada por una señal vertical a la derecha de la misma con una nomenclatura de PARE. La línea de parada es de color blanco de un ancho de 0.40 m. a 0.50 m. con una longitud que abarca el ancho de la calzada, ver plano de señalización.

Figura 4.2 Línea de Parada - Paso de Peatones



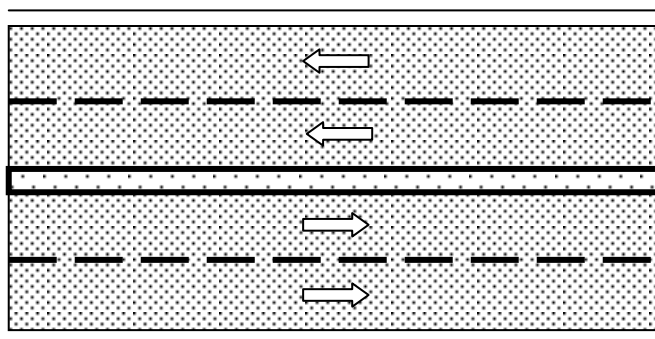
Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.1.3 Línea de Separación de Carriles

Los separadores de carriles en una calzada, son segmentos blancos no continuos cuya relación entre el segmento pintado y no pintado es igual a 0.60 m.

Estos segmentos son de 10 cm. de ancho por 0.60 m. de largo, en el caso de línea continua doble su separación puede ser de 5 cm. a 10 cm. La utilización de las líneas blancas en general es cuando se permite el cruce por encima de la línea, en cambio, los segmentos amarillos restringen cualquier tipo de cruce por encima de ellas.

Figura 4.3 Línea de Separación de Carriles

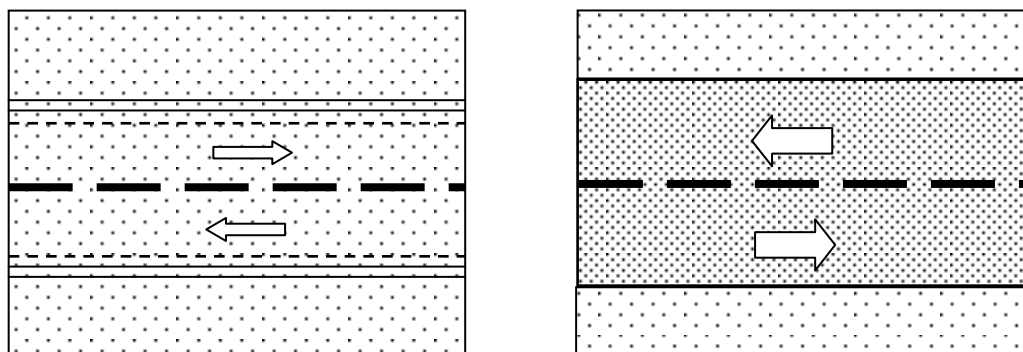


Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.1.4 Línea de Demarcación de Calzadas

Las líneas de demarcación de calzada, tienen como objetivo definir exactamente el área o ancho de la calzada utilizable para el tráfico vehicular, comprendida al interior de estas líneas, quedando las bermas en la parte exterior a estas líneas.

Son líneas continuas que van a ambos lados extremos de la calzada con pintura blanca, el ancho de demarcación es de 10 cm. a 15 cm. en línea continua.

Figura 4.4 Línea de Demarcación de Calzadas

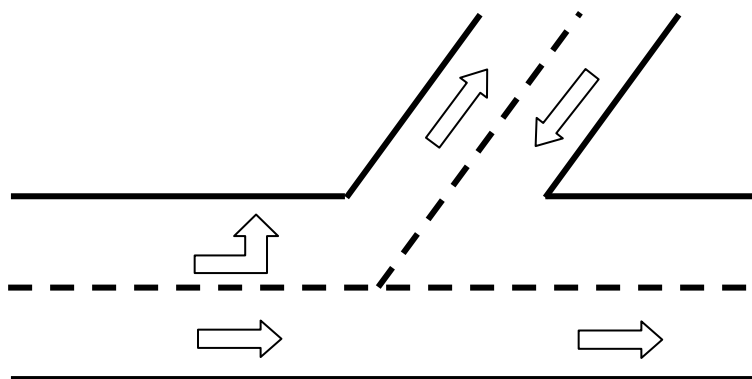
Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.1.5 Flechas Direccionales

Las flechas direccionales tienen por objetivo de guiar la circulación vehicular tanto de tramos en vías urbanas como en carreteras, estas flechas direccionales, son marcas que van pintadas sobre el pavimento y que guían la circulación pudiendo ser de cuatro tipos:

- La flecha direccional de frente
- La flecha direccional de frente y vuelta a la izquierda
- La flecha direccional de frente y giro a la izquierda
- La flecha direccional de giro izquierda o giro derecha simplemente

La ubicación de cada uno de estos tipos de flechas está de acuerdo al sentido de circulación ya establecida, se encuentra ubicada en la intersección entre la avenida y el acceso dos, separadas de la línea de parada una distancia que varía de 1 m. hasta 4 m. longitudinalmente sobre el eje del carril correspondiente y paralelo al eje.

Figura 4.5 Flechas Direccionales

Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.1.6 Líneas de Prevención de Frenado

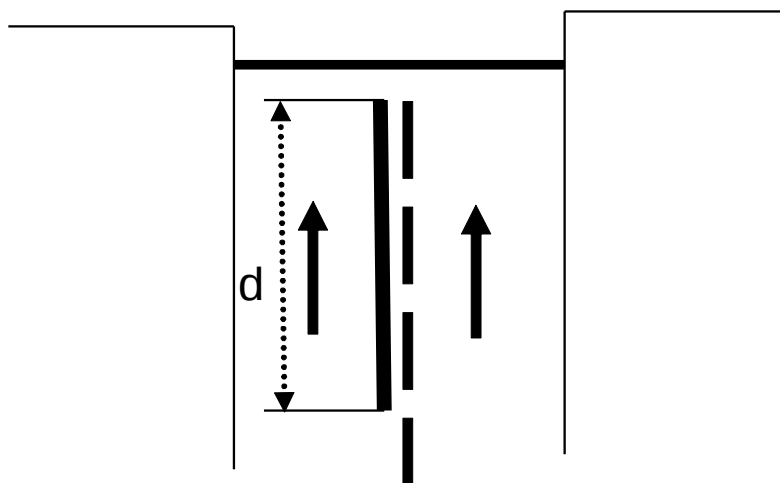
La línea de prevención de frenado es de color amarillo está ubicada inmediatamente anterior a la línea de parada esta sobre el eje de la calzada con un espesor de 10 cm. a 15 cm., frecuentemente debe definir algunas distancias aptas o no para realizar maniobras de sobre paso en función de la distancia de visibilidad para pasar cuyo valor se determina a partir de sus componentes:

- La distancia para frenado
- La distancia para la acción de sobre paso propiamente dicha
- La distancia que recorre un vehículo en sentido contrario.

La distancia determinada debe existir físicamente entre principios y fines de curva horizontal, en el caso de que no existiese esa distancia debe ser restringida a acciones de sobrepaso esta restricción se hace con un señalamiento sobre el pavimento que consiste en una línea amarilla simple o doble paralela al eje de 10 cm. de segmento correspondiente al eje que por su carácter preventivo restringe la maniobra de sobrepaso para definir las zonas que van ser restringidas para acción de sobrepaso se debe tomar en cuenta tanto la planimetría como la altimetría, en planimetría se tomará en cuenta el espacio entre principio , fin de curva y las distancias de visibilidad

horizontal en curvas, en altimetría se toman en cuenta las distancias de visibilidad tanto para curvas verticales de ángulo entrante como saliente.

Figura 4. 6 Líneas de Prevención de Frenado



Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.2 Tipos de Señales Verticales y su Ubicación en los Accesos

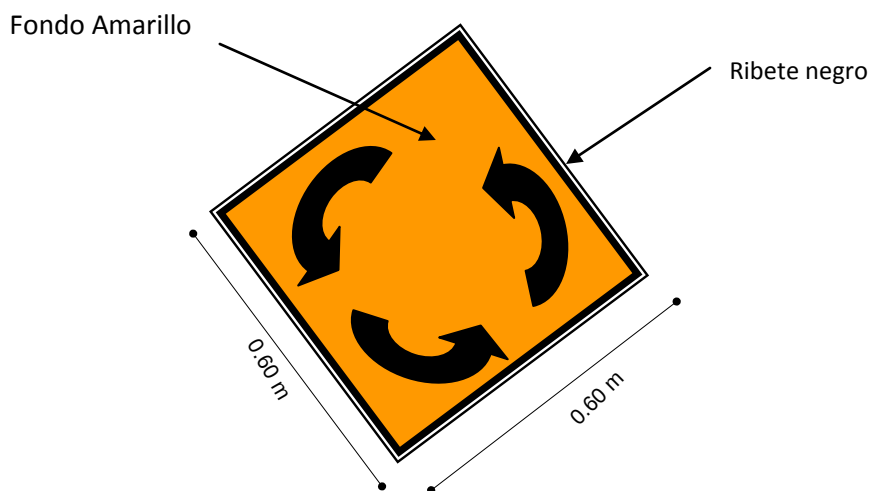
Los tipos de señales verticales utilizados en el presente proyecto son las siguientes:

4.9.2.1 Señales Preventivas

SP-20 ROTONDA.- La finalidad principal de esta señal es advertir de la proximidad de la rotonda, de las condiciones extraordinarias de circulación y prioridad que se dan en ella y la de orientar sobre los posibles destinos o direcciones que se pueden tomar, además de balizar los islotes deflectores, el islote central y los límites de la rotonda. A medida que un vehículo se aproxima a la rotonda la señalización que se utilizó es en el ramal que debe indicarle como mínimo la proximidad de la intersección mediante la señal **SP-20 ROTONDA**, tienen dimensiones de 0.60 m. x 0.60 m. de fondo amarillo con pintura reflectiva la señal de color negro y tienen un contorno de color

de línea negra alrededor del recuadro y la posición definitiva es con las aristas arriba y abajo.

Figura 4.7 Señal Preventiva: SP-20 Rotonda

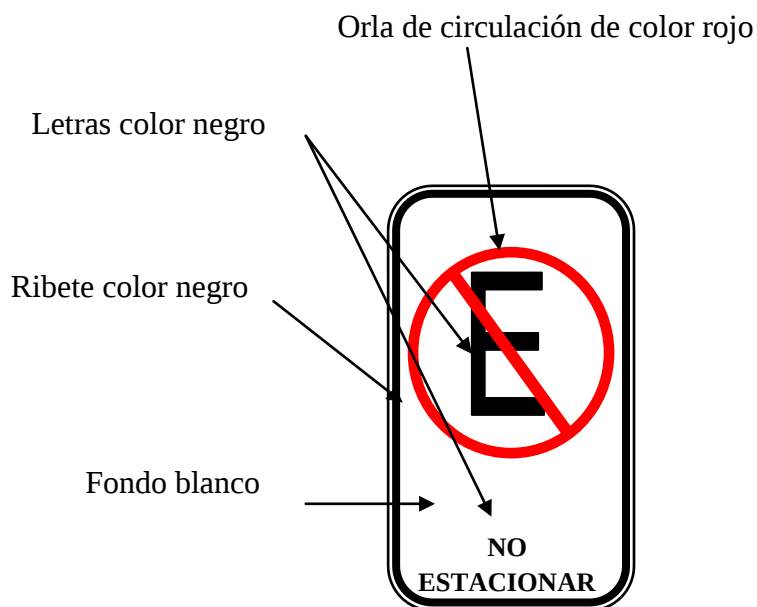


Fuente: Manual de Señalización ABC

4.9.2.2 Señales Restrictivas

SR-28 PROHIBIDO ESTACIONAR.- Las dimensiones establecidas son de 0.60 m. x 0.90 m. el fondo de estas señales deben ser de color blanco con pintura reflectiva, llevan un ribete alrededor de la señal de $\frac{1}{2}$ " de grosor de color negro. La señal está en la parte superior y tiene color negro, en algunas de ellas lleva una orla de color rojo de 1" de espesor y cuando se requiere restringir la acción de la señal esa orla lleva una línea diagonal del mismo color de izquierda a derecha. En la parte inferior de la señal pueden ir colocadas además algunas indicaciones alfabéticas cuyas dimensiones también están establecidas siendo letras de altura de 10 cm. cuyo grosor son de $\frac{1}{2}$ ", existen dos excepciones en este tipo de señales restrictivas que son las señales de Pare y Ceda el Paso.

Figura 4.8 Señal Restrictiva: SR-28 Prohibido Estacionar



Fuente: Manual de Señalización ABC

SR-01 PARE.- Esta es un octágono simétrico cuyas (paredes) o lados, paralelos están a 75 cm., tiene un fondo de color rojo con pintura reflectiva y tiene la palabra pare en la línea simétrica central, además de un ribete alrededor de la señal de color blanco.

Figura 4.9 Señal Restrictiva: SR-01 Pare



Fuente: Manual de Señalización ABC

Esta señal está ubicada en la parte derecha de las líneas de parada ubicadas en el pavimento y en todos aquellos lugares donde se quiere prevenir a través de la detención del vehículo un cruce de una intersección.

SR-02 CEDA EL PASO.- Es una señal cuyas dimensiones son las de un triángulo equilátero de 80 cm. de lado que tiene un fondo blanco con pintura reflectiva, en la parte superior está escrita la frase de CEDA EL PASO y lleva un ribete alrededor de color negro.

Figura 4.10 Señal Restrictiva: SR-02 Ceda el Paso



Fuente: Manual de Señalización ABC

Está ubicada en todas aquellas intersecciones donde esta prioridad por características geométricas y de volumen de tráfico el flujo secundario, estando ubicada la señal CEDA EL PASO en el acceso de flujo secundario.

Figura 4.11 Señal Restrictiva:

SR-06 Prohibido Girar a la Izquierda

SR-08 Prohibido Girar a la Derecha



Fuente: Manual de Señalización ABC

Estas señales son empleadas para notificar la prohibición de girar a la izquierda, y a la derecha porque al realizar este giro los vehículos circularían en contra flujo.

Figura 4.12 Señal Restrictiva: SR-30 Velocidad Máxima



Fuente: Manual de Señalización ABC

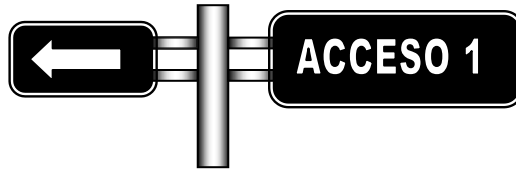
Esta señal es utilizada para notificar la velocidad máxima a que se puede circular, expresada en kilómetros por hora. La limitación de velocidad debe aparecer razonable y no innecesariamente restrictiva, pues los límites excesivos perjudican la credibilidad de la señalización.

4.9.2.3 Señales Informativas

Las características de las señales informativas están normalizadas en colores y dimensiones de algunos de ellos, existen otras cuyas dimensiones se determinan de acuerdo al tipo de proyecto, la ubicación de las señales verticales se colocarán a una distancia mínima de 0.60 m. del borde de la calzada y una altura mínima de 2,5 metros apoyado sobre un poste metálico de 3 o 4 pulgadas de diámetro que tendrá que ser pintado de color gris, puede ser de madera de dimensión rectangular de 0.15 x 0.15 m. o de hormigón de 0.15 a 0.20 m. de lado.

La forma de las señales de nomenclatura es rectangular con su mayor dimensión horizontal y con la leyenda en ambas caras.

Figura 4.13 Señales Informativas de Identificación



Fuente: Manual de Señalización ABC

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Al concluir el presente trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

Con el levantamiento topográfico se obtuvieron todos los datos necesarios para la confección del plano de planta, perfil longitudinal y perfiles transversales para trazar el eje definitivo de los accesos y calcular el volumen de corte, volumen de relleno y sus diagramas de masa de los accesos.

Con los aforos realizados en la avenida panamericana-km 5, se determinó el volumen de tráfico vehicular y la velocidad de los vehículos en ambos sentidos de la vía principal.

Según los aforos de velocidad en un determinado tramo de la avenida Panamericana se pudo constatar que la velocidad promedio que imprimen los vehiculos es de 79 km/h, este parámetro nos permite definir que para obtener la velocidad en los accesos se debe reducir la misma construyendo una rotonda en intercepción de la avenida y el acceso principal.

El diseño geométrico de los accesos fue realizado según la sección transversal de 22 m determinada por la Oficina de Dirección de Ordenamiento Territorial del Municipio de Tarija, tomando en cuenta parámetros recomendados por la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC.

Con los datos pluviométricos de Precipitación máx. de 24 hrs (mm) (SENAMHI) de la estación pluviométrica más cercana a la zona de Torrecillas , nos permite obtener el caudal de diseño de drenaje, donde se obtiene una sección de la alcantarilla de 1 m. de diámetro y para su construcción se decide trabajar con dos tubos de

cemento de 30 pulgadas en paralelo con cabezales de Hormigón Ciclópeo ubicadas en cada acceso.

El cálculo correspondiente de los volúmenes de corte, relleno y el diagrama de masas de los accesos fueron determinados mediante el programa Land cad, los mismos están representados en los anexos de cómputos métricos y planos de perfiles transversales.

Se elaboró el presupuesto total de la construcción llegando al monto de 8.219.510,86 Bs. Con un costo por kilómetro de 4.892,56 Bs.

Se concluye que el presente trabajo es factible técnicamente ya que el diseño geométrico se realizó en condiciones reales del lugar tomando en cuenta las características topográficas de la zona en estudio.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda tener muy en cuenta antes de iniciar cualquier tipo de diseño de una vía, la previa consulta o consenso a los pobladores de la zona en estudio, para evitar problemas de carácter social, referente al impacto directo a sus terrenos adyacentes en el tramo.

El presente trabajo debe ser completado con un estudio socioeconómico a fin de evaluar con más claridad la viabilidad del mismo tomando como parámetros la producción y la población directa e indirecta que se beneficiaría con el proyecto.

Es de prioridad un mantenimiento rutinario y adecuado para reducir al mínimo los costos de reparación a largo plazo, particularmente en lo que se refiere a las obras de drenaje.

Se recomienda para el diseño del drenaje el uso apropiado de métodos hidrológicos e hidráulicos. Finalmente la vía deberá examinarse durante las tormentas de mayor

intensidad para conseguir información de primera mano sobre problemas y necesidades de drenaje.

Se recomienda realizar aforos manuales por las ventajas que ofrece, ya que con este método se puede determinar más las características del tránsito como ser la composición vehicular, la velocidad por sentidos y el tránsito promedio diario, siendo más efectivo y económico que cualquier otro método.