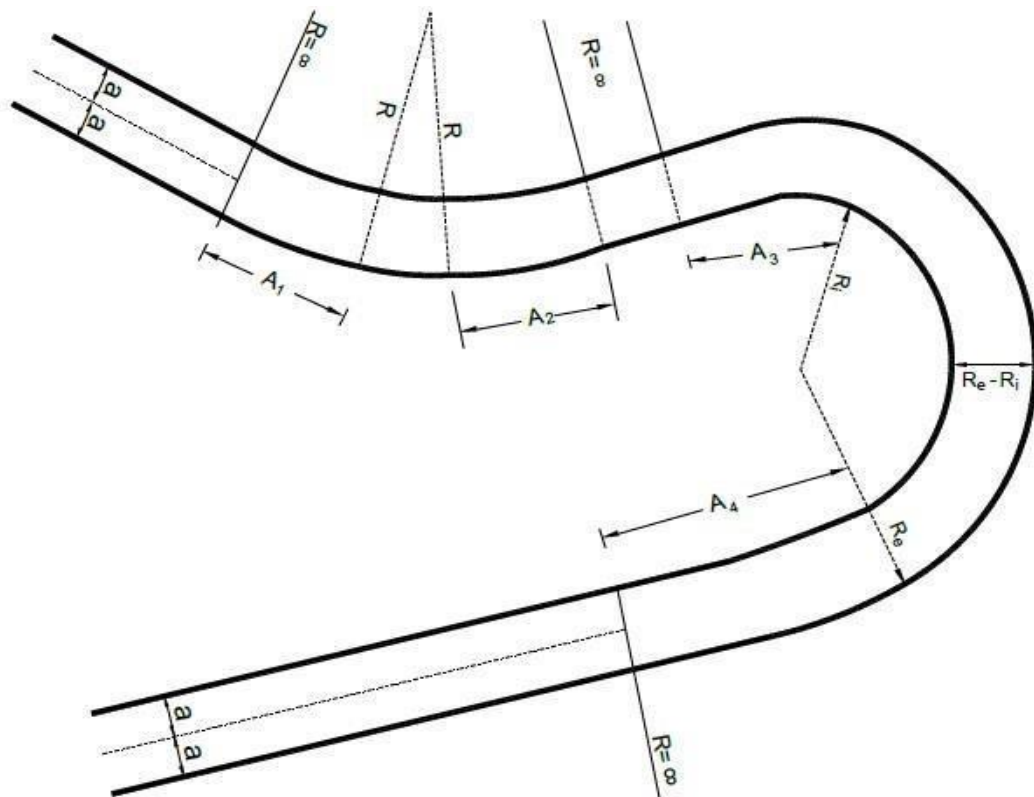


MANUAL DE LABORATORIO DE DISEÑO DE CARRETERAS



Séptimo semestre 2026

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00 y 13:00-17:00	Práctica 1: Clasificación de las carreteras.
Martes	08:00-12:00 y 13:00-17:00	Práctica 2: Diseño geométrico horizontal.
Miércoles	08:00-12:00 y 13:00-17:00	Práctica 3: Replanteo de curvas horizontales.
Miércoles	08:00-12:00 y 13:00-17:00	Práctica 4: Diseño geométrico vertical.
Opcional	08:00-12:00 y 13:00-17:00	Práctica 5: Secciones típicas y drenaje

MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada estudiante deberá traer los siguientes materiales según corresponda en la práctica:

Día	Reactivos y Material
1. Lunes	Calculadora Lapiceros Hojas en blanco
2. Martes	Calculadora Lapiceros Hojas en blanco
3. Miércoles	Calculadora Lapiceros Hojas en blanco
4. Jueves	Calculadora Lapiceros Hojas en blanco

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **25 de mayo 2026 a las 8:00 al 29 de mayo 2026 a las 18:00.**

INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resumen de la práctica
- b) Resultados
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **RESUMEN DE LA PRÁCTICA:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- b. **RESULTADOS:** Es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- c. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

DETALLES FÍSICOS DEL INFORME

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond **tamaño carta**.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano **CON LETRA CLARA Y LEGIBLE**, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

IMPORTANTE:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio **SIN EXCEPCIONES**. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

PRÁCTICA No. 1

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Identificar la clasificación de carreteras de acuerdo a su funcionalidad.
- 1.2 Proyectar un tránsito promedio diario para un periodo de diseño.
- 1.3 Visualizar y categorizar carreteras conocidas a través del mapa de red vial de Guatemala.

2. Marco Teórico:

2.1. Las carreteras

Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad.

Una vía será funcional de acuerdo a su tipo, características geométricas y volúmenes de tránsito, de tal manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una velocidad de operación suficiente.

2.2. Clasificación de carreteras

La clasificación funcional de las carreteras, admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño. Esta clasificación se establece como:

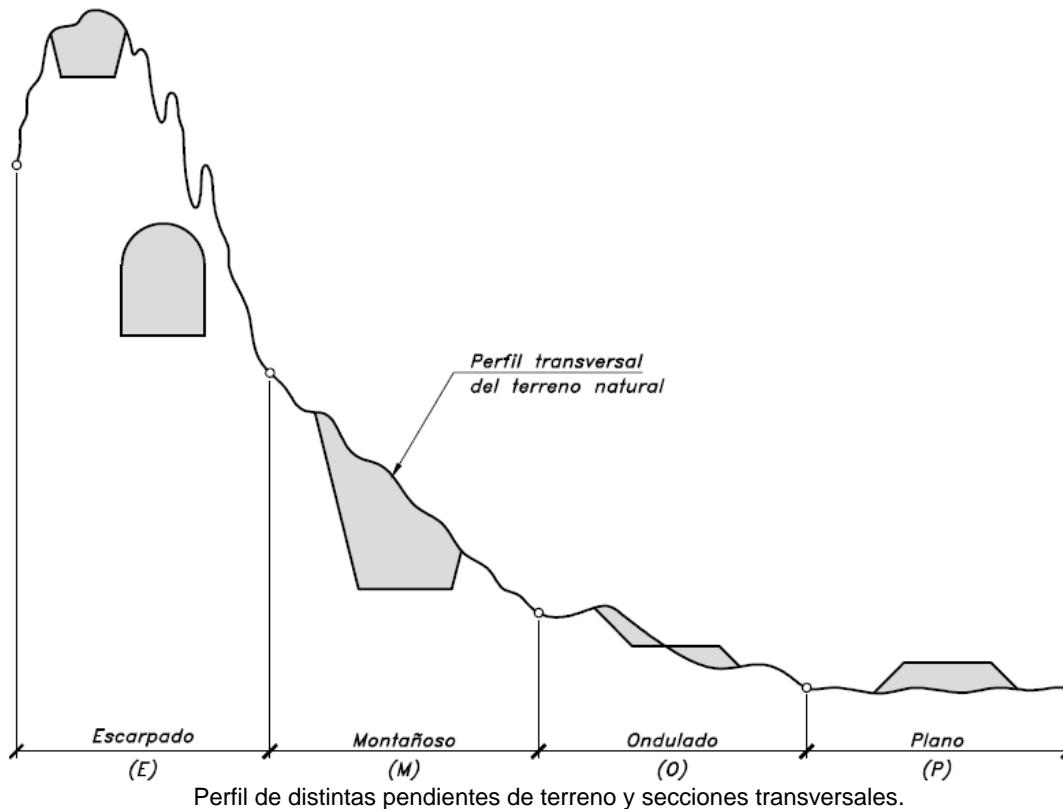
- **Según su función:** determinada según la necesidad operacional de la carretera o de los intereses de la nación en sus diferentes niveles:
 - **Carreteras primarias o de primer orden:** son aquellas vías troncales, transversales y de accesos a las capitales de los Departamentos, que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y de consumo del país y de éste con los demás países. Este tipo de carreteras puede ser de calzadas divididas según las exigencias del proyecto, y deben ser siempre pavimentadas.
 - **Carreteras secundarias o de segundo orden:** son aquellas vías que unen cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria. Las carreteras consideradas como secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.
 - **Carreteras terciarias o de tercer orden:** son aquellas vías de acceso que unen cabeceras municipales con sus veredas, o que unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deben cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras Secundarias
- **Según el tipo de terreno:** determinada por la topografía predominante en el tramo en estudio. De allí que, a lo largo de una carretera pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno. Éstos se clasifican con base en las pendientes de sus laderas naturales en el entorno y transversalmente en la vía.

T.P.D.	Carretera	velocidad de diseño (km.)	Radio mínimo(m.)	Pendiente máxima (%)	Ancho de calzada
	Tipo "A"				2 x 7.20
3000.00	Llanas	100.00	375.00	3.00	
A	Onduladas	80.00	225.00	4.00	
5000.00	Montañosas	60.00	110.00	5.00	
	Tipo "B"				7.20
1500.00	Llanas	80.00	225.00	6.00	
A	Onduladas	60.00	110.00	7.00	
3000.00	Montañosas	40.00	47.00	8.00	
	Tipo "C"				6.50
900.00	Llanas	80.00	225.00	6.00	
A	Onduladas	60.00	110.00	7.00	
1500.00	Montañosas	40.00	47.00	8.00	
	Tipo "D"				6.00
500.00	Llanas	80.00	225.00	6.00	
A	Onduladas	60.00	110.00	7.00	
900.00	Montañosas	40.00	47.00	8.00	
	Tipo "E"				5.50
100.00	Llanas	50.00	75.00	8.00	
A	Onduladas	40.00	47.00	9.00	
500.00	Montañosas	30.00	30.00	10.00	
	Tipo "F"				5.50
10.00	Llanas	40.00	47.00	10.00	
A	Onduladas	30.00	30.00	12.00	
100.00	Montañosas	20.00	18.00	14.00	

Fuente: Dirección General de Caminos de Guatemala (D.G.C.G.)

- **Carreteras en terreno plano:** Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener aproximadamente la misma velocidad que la de los vehículos livianos. Exigen mínimo movimiento de tierras durante la construcción, por lo que no presentan dificultad ni en el trazado ni en la Explanación. Las pendientes longitudinales de las vías son normalmente menores al 3%.
- **Carreteras en terreno ondulado:** Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a reducir sus velocidades significativamente por debajo de la de los vehículos livianos, sin ocasionar que aquellos operen a velocidades sostenidas en pendiente por intervalos de tiempo prolongado. Durante la construcción los movimientos de tierra son moderados, lo que permite alineamientos más o menos rectos, sin mayores dificultades en el trazado y explanación. Sus pendientes longitudinales se encuentran entre el 3% y el 6%.

- **Carreteras en terreno montañoso:** Generalmente requieren grandes movimientos de tierra durante la construcción, razón por la cual presentan dificultades en el trazado y en la explanación. Sus pendientes longitudinales predominantes se encuentran entre el 6% y el 8%.
- **Carreteras en terreno escarpado:** Es la combinación de alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a operar a menores velocidades sostenidas en pendiente que aquellas a las que operan en terreno montañoso, para distancias significativas o a intervalos muy frecuentes. Exigen el máximo movimiento de tierras durante la construcción, con muchas dificultades para el trazado y explanación, pues los alineamientos están prácticamente definidos por divisorias de aguas. Generalmente sus pendientes longitudinales son superiores al 8%.



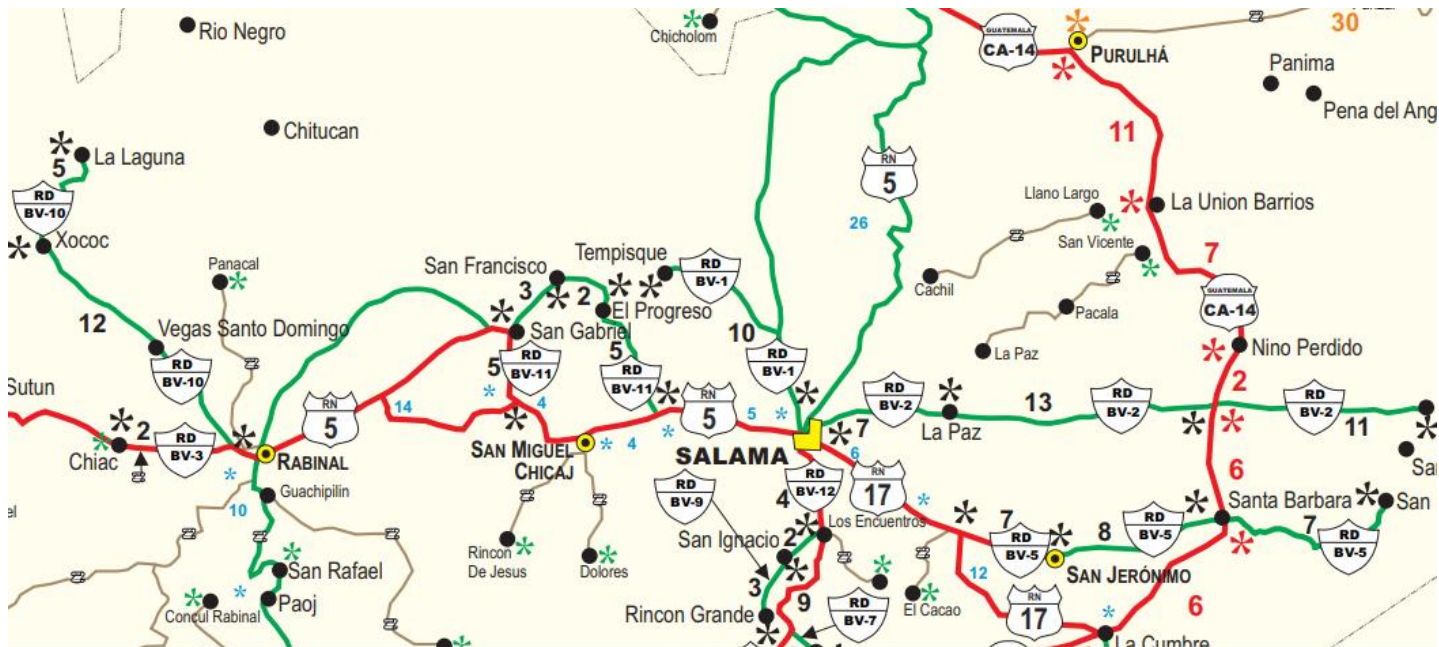
- **Según su competencia:** Las carreteras se clasifican según se encuentren a cargo de una determinada administración:
 - **Rutas Centroamericanas (CA):** Las Rutas Centroamericanas (CA) son rutas nacionales de primer orden con un ancho de derecho de vía de 25 metros o más (12.50 mts. de cada lado de la línea central; área de reserva: 80.00 mts., 40.00 mts. de cada lado de la línea central), como autopistas y carreteras de cuatro carriles o más. Estas rutas conectan la capital con fronteras, puertos importantes, o atraviesan el país longitudinalmente o transversalmente. Las rutas centroamericanas, unen la capital con fronteras o desde otra ruta centroamericana, unen puertos de importancia desde la capital o desde otra ruta centroamericana, atraviesan longitudinalmente o transversalmente la república, reúnen las mejores condiciones de diseño que la topografía les permite.
 - **Rutas nacionales (RN)**

- Une cabeceras departamentales
- Une rutas centroamericanas, con cabeceras departamentales
- Conecta rutas centroamericanas.
- Une rutas centroamericanas con puertos de importancia comercial para el país. Red auxiliar de las rutas centroamericanas
- Derecho de vía: 25.00 mts. (12.50 mts. De cada lado de la línea central); área de reserva: 80.00 mts. (40.00 mts. De cada lado de la línea central).
- **Rutas Departamentales (RD):** Las Rutas Departamentales están clasificadas como de segundo orden por la Dirección General de Caminos, cuentan con dos carriles y un ancho de rodadura de 5 a 6 metros. Estas rutas conectan cabeceras departamentales, entre sí, rutas centroamericanas o rutas nacionales.
 - Interconecta cabeceras departamentales
 - Unen cabeceras departamentales entre sí
 - Une cabeceras municipales con rutas centroamericanas o rutas nacionales u otras departamentales.
 - Derecho de vía: 20.00 mts. (10.00 mts. De cada lado de la línea central).
- **Caminos Rurales (CR):** Los caminos rurales dentro de la clasificación de la red vial de la Dirección General de Caminos son de tercer orden, con un ancho total de rodadura de 4 metros y un ancho de derecho de vía de 6 a 9 metros.

Signos convencionales empleados para identificar la clasificación de las rutas en el mapa de red vial de la dirección general de caminos.

SIGNOS CONVENCIONALES		
CARRETERA ASFALTADA (4 CARRILES)		
CARRETERA PAVIMENTADA (4 CARRILES)		CARRETERAS CENTROAMERICANAS 
CARRETERA ASFALTADA (2 CARRILES)		CARRETERAS NACIONALES 
CARRETERA PAVIMENTADA (2 CARRILES)		CARRETERAS DEPARTAMENTALES 
CARRETERA DE TERRACERIA		
CAMINOS RURALES		CAMINOS RURALES 
CIUDAD CAPITAL		   DEPTO. DE INGENIERIA DE TRANSITO, DPE DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
PALACIO NACIONAL		
CABECERA DEPARTAMENTAL		
CABECERA MUNICIPAL		
ALDEA, CASERIO FINCA O HACIENDA		

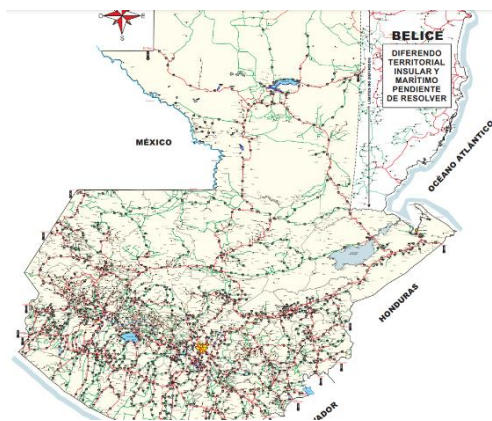
En la siguiente imagen se observan algunas de las rutas que se localizan en el departamento de Baja Verapaz. Al mapa en el que se incluyen las rutas a nivel nacional se le conoce como MAPA DE RED VIAL DE GUATEMALA, elaborado y actualizado por el departamento de tránsito de la dirección general de caminos (DGC).



Fuente: Dirección General de Caminos

Ejemplos:

1. La ruta que comunica al municipio de Salamá – San Miguel Chicaaj, tiene denominación (RN 5) y se interpreta como Ruta Nacional No. 5.
2. La ruta que comunica al municipio de Purulhá Baja Verapaz con la Aldea Santa Bárbara, tiene denominación CA-14 y se interpreta como; Ruta centroamericana No. 14
3. La ruta que comunica al municipio de San Jerónimo Baja Verapaz con la Aldea Santa Bárbara, tiene denominación (RD BV-5) y se interpreta como; Ruta departamental No. 5 de Baja Verapaz.



Descargue el mapa de red vial de Guatemala que se muestra en la figura. Este mapa se encuentra en la página de la Dirección General de Caminos

<https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Mapas/Red%20Vial%20DGC.pdf>

2.3 Vehículo de diseño

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase para su uso en el diseño geométrico. Así, cada vehículo de diseño tiene dimensiones físicas mayores y radios de giro mínimos mayores que la mayoría de los de su clase y al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación, se le brindan al diseñador los controles y elementos, a los que debe ajustar el diseño para facilitar su circulación sin restricciones. De cada tipo de vehículo que se utiliza en el diseño geométrico, se seleccionan los de mayores dimensiones físicas y de radio de giro mayores, dentro de su clasificación, para adoptar las condiciones más desfavorables, al efecto de alcanzar el objetivo específico de diseñar con estándares altos que proporcionen mayor seguridad vial.

- **Abreviaturas y definiciones de vehículos tipo:**

- **Conductor:** es toda persona autorizada que conduzca un vehículo automotor.
- **Distancia entre ejes:** distancia entre los ejes del tren de rodadura, medida paralela al eje longitudinal de desplazamiento (medición realizada de centro a centro de los ejes).
- **Eje Simple:** es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.
- **Eje Simple de Rueda Doble:** es el que está compuesto de cuatro ruedas de igual medida de fabricación, dos ruedas en cada extremo del eje, o una rueda de doble ancho en cada extremo del eje.
- **Eje Doble (Tándem):** es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.
- **Eje Doble (Tándem) Tipo A:** es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere a uno de sus ejes no menos del 40% de los pesos que soporta el conjunto.
- **Eje Doble (Tándem) Tipo B:** es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.
- **Eje Triple:** es el conjunto de tres ejes simples de rueda doble con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.
- **Eje Triple Tipo A:** es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere como mínimo el 28% del peso total del conjunto a cada uno de los ejes.
- **Eje Triple Tipo B:** es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.
- **Peso bruto vehicular (PBV):** suma del peso tara vehicular y el peso de la carga útil, más todo el embalaje que este contenga, incluyendo el peso del conductor y cualquiera otra persona transportada al mismo tiempo.
- **Peso por eje:** concentración de peso, expresado en kilogramos fuerza, que un eje transmite a todas las llantas que conforman el mismo y éstos a la superficie de rodamiento.
- **Remolque:** es el vehículo que soporta la totalidad de su peso sobre sus propios ejes y que está

destinado a ser halado por un vehículo automotor.

- **Semirremolque:** es el vehículo que carece de eje delantero que descansa la parte frontal de su peso en un tractor o cabezal y que está destinado a ser halado.
- **Vehículo Automotor:** Significa todo el vehículo provisto de un dispositivo mecánico de autopropulsión, utilizado normalmente para el transporte de personas o mercancías, por carretera y que no marche sobre rieles o conectado a un conductor eléctrico.
- **C-2:** es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble (eje de tracción).
- **C-3:** es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o Tándem (eje de tracción).
- **C-4:** es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje triple (eje de tracción).
- **T-2:** es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción).
- **T-3:** es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje doble o Tándem (eje de tracción).
- **T-4:** es un tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje triple (eje de tracción).
- **S-1:** es un semi-remolque con un eje trasero simple de rueda doble.
- **S-2:** es un semi-remolque con un eje trasero doble o Tándem.
- **S-3:** es un semi-remolque con un eje trasero triple.
- **S-4:** es un semi-remolque con un eje trasero cuádruple.
- **R-2:** es un remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y un eje trasero simple o de rueda doble.
- **R-3:** es un remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y un eje trasero doble Tándem.
- **R-4:** es un remolque con dos ejes de rueda doble o Tándem en cada uno de sus extremos.

Los vehículos y combinaciones no deberán exceder el peso bruto vehicular que señala el reglamento, en la siguiente ilustración se detalla el límite de peso permitido por eje para algunos vehículos.

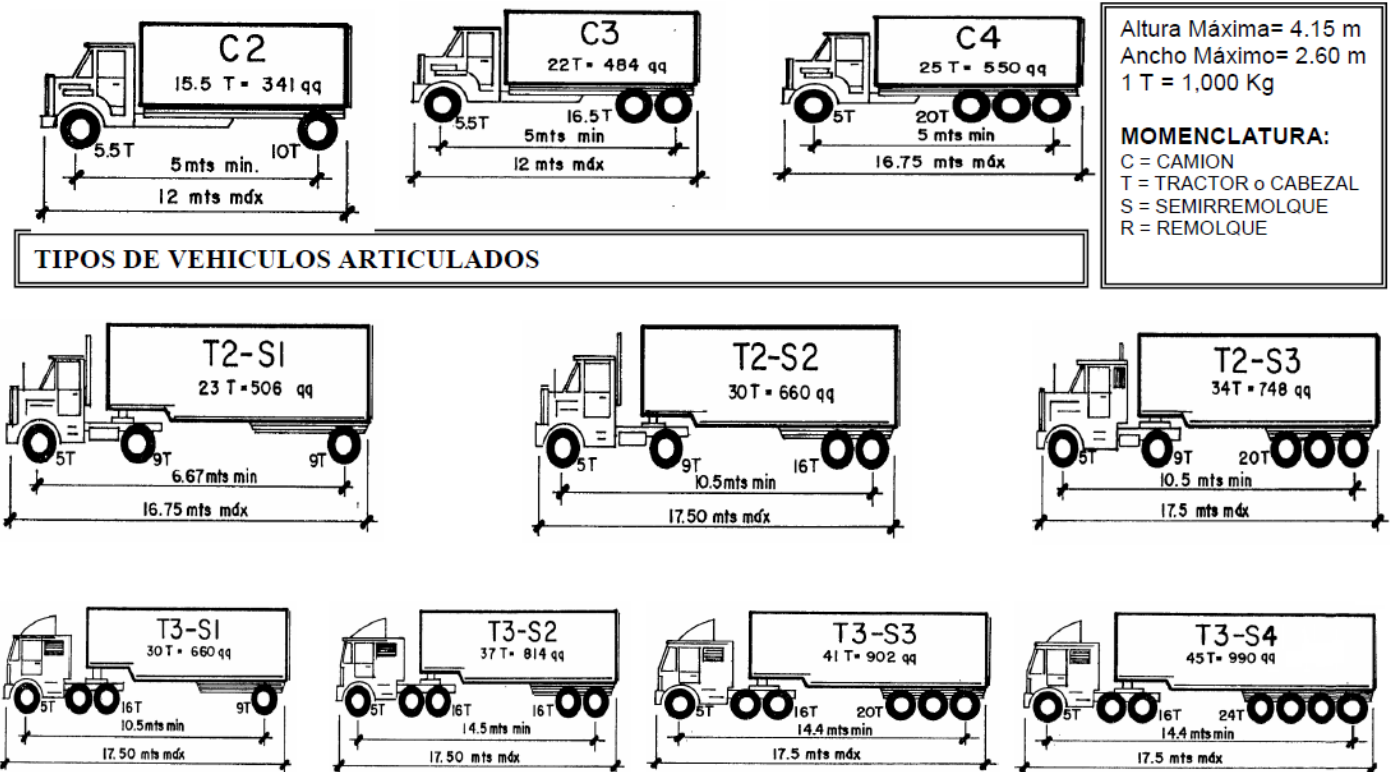
PARA VEHÍCULOS TIPO C2 Y C3

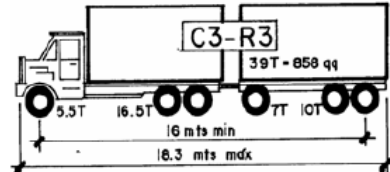
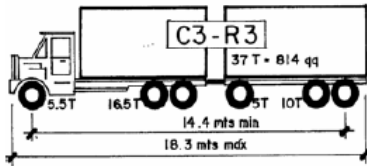
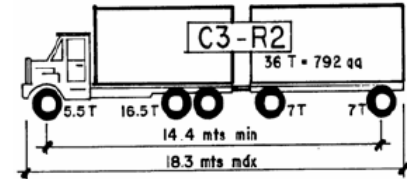
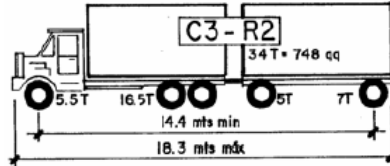
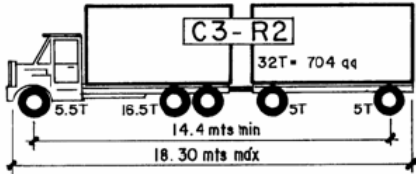
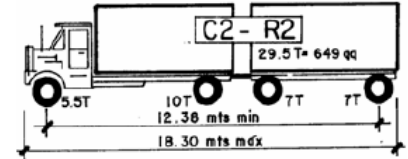
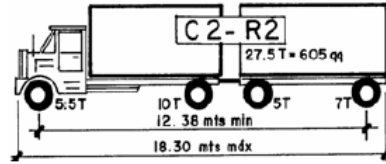
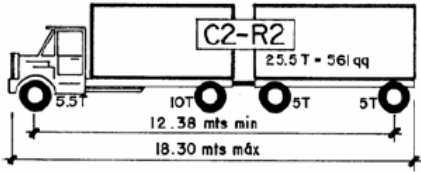
Eje Simple 5,500 Kg
 Eje Simple Rueda Doble 10,000 Kg
 Eje Doble (tándem) Tipo A 16,500 Kg
 Eje Doble (tándem) Tipo B 12,000 Kg
 Eje Triple Tipo A
 Eje Triple Tipo B

PARA OTROS VEHICULOS

5,000 Kg
 9,000 Kg
 16,000 Kg
 12,000 Kg
 20,000 Kg
 17,000 Kg

Fig. Tipos de camiones y vehículos articulados

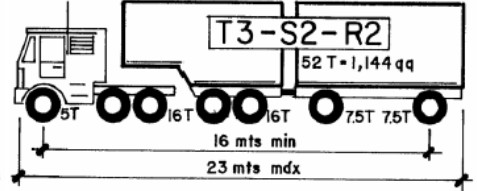
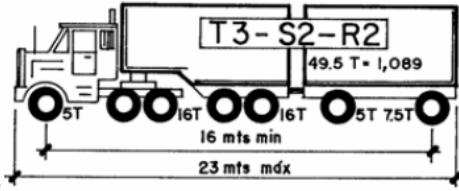
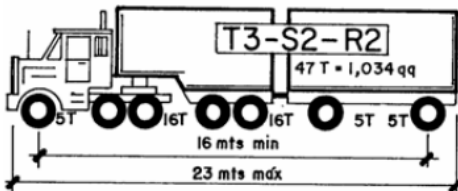
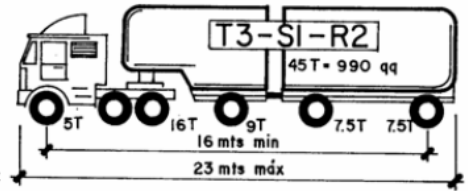
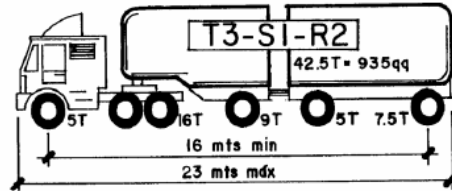
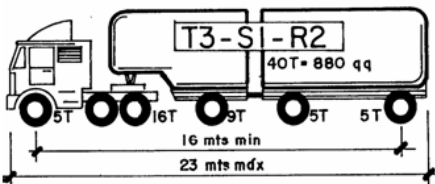




Altura Máxima= 4.15 m
 Ancho Máximo= 2.60 m
 1 T = 1,000 Kg

MOMENCLATURA:
 C = CAMION
 T = TRACTOR o CABEZAL
 S = SEMIRREMOLQUE
 R = REMOLQUE

TIPOS DE COMBINACIONES VEHICULARES



2.4. Volumen vehicular

Los estudios sobre volúmenes de tránsito son realizados con el objetivo de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial. Sirven además como medida para determinar: la utilización vial, la capacidad vial y la demanda del tránsito. Los errores que se cometan en la determinación de volúmenes de tránsito se traducirán en problemas como congestión por volúmenes muy superiores a los proyectados.

● **Tránsito Promedio Diario Anual**

La unidad general de medida del tránsito sobre una carretera es el volumen del tránsito promedio diario anual

(TPDA). El TPDA se define como el volumen total durante un período determinado de tiempo (en general días), mayor que un día y menor o igual que un año, dividido por el número de días comprendido en ese período de tiempo.

- **Tránsito promedio diario (TPD)**

Se define como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del período. Se utiliza en trabajos de planeación.

- **Tránsito proyectado**

$$TPD = T_n$$

Donde T_n : Tránsito proyectado

A continuación, se muestra la expresión matemática para el cálculo del tránsito promedio diario de diseño:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año

T_o = Tránsito actual (en vehículos/día)

n = Años del periodo de diseño

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define con la dinámica de crecimiento socioeconómico, normalmente entre el 2% y 6% a criterio del equipo de estudio.

Periodos de diseño

Tipo de vía	Periodo de diseño
Autopista regional	20 - 40 años
Troncales suburbanas	15 - 30 años
Troncales rurales	
Colectoras suburbanas	10 - 20 años
Colectoras rurales	

- **Tránsito actual (T_o):** La determinación del tránsito actual, se estima con base en el TPDS o media maestra. Está dado por:

$$T_o = TPDS \pm A$$

Donde:

$TPDS = \text{tránsito promedio diario semanal}$

$A = \text{Intervalo de confianza} = K\sigma$

En la distribución normal, para niveles de confiabilidad del 90 % y 95 % los valores de la constante K son 1,64 y 1,96

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$$

Donde:

$N = 365$ (cantidad de días en un año)

$n = \text{duración del estudio (días)}$

$s = \text{desviación estándar}$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$TDi = \text{Cantidad de vehículos por cada día de estudio}$

$n = \text{duración del estudio (días)}$

EJEMPLO 1: Calcule el TPD de diseño para un tramo carretero la recolección de datos se resume en la siguiente tabla. La ubicación del tramo conduce a la aldea San Sebastián el Refugio, San Cristóbal Verapaz, Alta Verapaz.

DIA	Camión C-2	Pick Up	Tipo Sedan	Motocicletas	Total
Lunes	29	55	75	36	195
Martes	21	51	62	46	180
Miércoles	23	45	80	50	198
Jueves	16	56	49	29	150
Viernes	22	62	69	34	187
Sábado	20	20	40	21	101
Domingo	14	26	36	20	96

Se calcula el tránsito promedio diario semanal

$$TPDS = \frac{195 + 180 + 198 + 150 + 187 + 101 + 96}{7} = 158 \text{ veh\u00edculos}$$

Desviaci\u00f3n est\u00e1ndar

$$\text{D\u00eda lunes} = (195 - 158)^2 = 1358$$

Se hace el mismo procedimiento con los siguientes d\u00edas y se suman.

DIA	TPD	TPDS	(TDi-TPDS)^2
Lunes	195	158	1358
martes	180	158	478
mi\u00e9rcoles	198	158	1589
jueves	150	158	66
viernes	187	158	833
s\u00e1bado	101	158	3265
domingo	96	158	3862
		TOTAL	11451 veh\u00edculos

Aplicar la f\u00f3rmula de desviaci\u00f3n est\u00e1ndar, n = 7 (cantidad de d\u00edas analizados)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{11451}{7 - 1}} = 44$$

Intervalo de confianza

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{N - n}{N - 1}}$$

$$\sigma = \frac{44}{\sqrt{7}} * \sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} = 16.375$$

$$A = \text{Intervalo de confianza} = K\sigma$$

En la distribuci\u00f3n normal, para un nivel de confiabilidad del 95 % el valor de la constante K es 1,96

$$A = \text{Intervalo de confianza} = 1.96 * 16.375 = 32 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1nsito actual

$$T_o = TPDS \pm A$$

$$T_o = 158 + 32 = 190 \text{ veh\u00edculos} \quad T_o = 158 - 32 = 126 \text{ veh\u00edculos}$$

Se usar\u00e1 el m\u00e1s cr\u00edtico $T_o = 190$ veh\u00edculos

Proyecci\u00f3n de tr\u00e1nsito

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

$T_o = 190$ veh\u00edculos

$n =$ De acuerdo a la tabla, se usar\u00e1 20 a\u00f1os

$i = 2.5 \% = 0.025$

$$T_n = 190 (1 + 0.025)^{20-1}$$

$$T_n = 304 \text{ veh\u00edculos}$$

$$TPD = 304 \text{ veh\u00edculos}$$

R// De acuerdo con el TPD calculado a 20 a\u00f1os, con una tasa de crecimiento del 2.5 %, se espera una afluencia de 304 veh\u00edculos

Reportar:

1. Investigar: Estaciones para conteo de tr\u00e1nsito
2. Realizar los c\u00e1lculos de tr\u00e1nsito promedio diario TPD, de los datos de la siguiente tabla.

DIA	Camion C-2	Camion C-3	Buses	Pick Up	Tipo Sedan	Motocicletas	Total
Lunes	41	19	17	123	192	175	567
Martes	44	17	27	125	110	183	506
Mi\u00e9rcoles	40	22	19	129	212	133	555
Jueves	53	30	29	68	230	137	547
Viernes	37	23	22	121	193	104	500
S\u00e1bado	66	17	20	81	144	154	482
Domingo	43	22	20	123	232	161	601

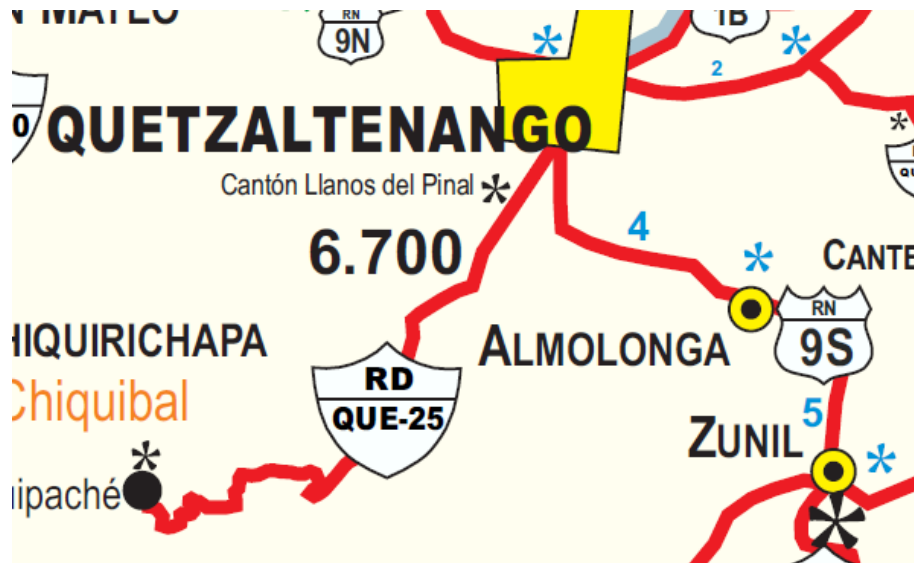
HOJA DE TRABAJO No.1

1. En una determinada ruta se realizó el conteo vehicular durante una semana, para determinar el TPD proyectado a 15 años. La tasa de crecimiento socioeconómico es del 3%.

DIA	Camión C-2	Camión C-3	Pick Up	Tipo Sedan	Motocicletas
Lunes	37	17	91	170	158
Martes	41	15	126	136	131
Miércoles	36	30	112	134	181
Jueves	31	26	76	161	186
Viernes	39	27	92	111	149
Sábado	44	20	67	97	170
Domingo	43	24	77	127	126

2. Ingresar al mapa de red vial de la Dirección general de caminos (DGC), buscar cada uno de los tramos indicados en la siguiente tabla e indicar cuál es la denominación dada para esa ruta.

Ejemplo: Tramo Quetzaltenango - Zunil = Denominación RN - 9s



TRAMO

QUETZALTENANGO - ZUNIL

QUETZALTENANGO - OLINTEPEQUE - SAN CARLOS SIJA - LIM. DEPTAL. QUET/TOT

CHAMPERICO - LA TORTUGA - NUEVA LINDA - RETALHULEU - BIF. SAN SEBASTIAN

LIM. DEPTAL. QUE/TOT - SAN CARLOS SIJA - LIM. DEPTAL. TOT/QUE

CA-1 OCCIDENTE - HUEHUETENANGO - CHIANTLA - CHUSCAJ - LA CAPELLANIA - YULGUITZ - SAN FRANCISCO - CHENGUAY - SAN JUAN IXCOY - IXTIAPOC - SOLOMA - SANTA EULALIA - SAN MATEO IXTATAN - NUCA - EL QUETZAL - FTN

OCOS - VILLA ANGEL - SANTA CLARA - TECUN UMAN - CIUDAD HIDALGO - EL TRIUNFO - SAN JOAQUIN - SAN LORENZO - CATARINA - SANTA BARBARA - RN-1

ALISOS - AGUACATAN - SAN JUAN IXCOY - CHICHOQUE - LLANO COYOTE - LIM. DEPTAL. HUE/QUI

CHIXOY - CHIYUC - SAN CRISTOBAL VERAPAZ - SANTA CRUZ VERAPAZ

TECTITAN - CHEPITO - CUILCO - IXMULEJ - ACAL - IXTAHUACAN - SAN GASPAS IXCHIL - COLOTENANGO

LIM. DEPTAL HUE/QUI - CUNEN - LA HACIENDA - EL PERICON - CHIMANZANA - TIERRA BLANCA - USPANTAN - POBLAJ - CHICAMAN - EL PALACIO - CHIXOY

PRÁCTICA No. 2

DISEÑO GEOMÉTRICO HORIZONTAL

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Conocer conceptos generales para el diseño del alineamiento horizontal de una carretera.
- 1.2 Interpretar los elementos que conforman una curva horizontal.
- 1.3 Determinar los elementos geométricos de las curvas circulares.

2. Marco Teórico:

2.1 Alineamiento horizontal

En la proyección horizontal – longitudinal (planta) se muestra la alineación o eje de una carretera, geoméricamente este eje consta de una serie de líneas rectas y curvas, técnicamente a las líneas rectas se les llama tangentes.

2.2 Tangentes

Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como PI , y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por Δ . Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente, se le denomina punto sobre tangente y se le representa por PST .



Fig. Líneas tangentes en el alineamiento horizontal de una carretera.

La longitud mínima de una tangente está condicionada por la seguridad. Las tangentes son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor mantener concentrada su atención en

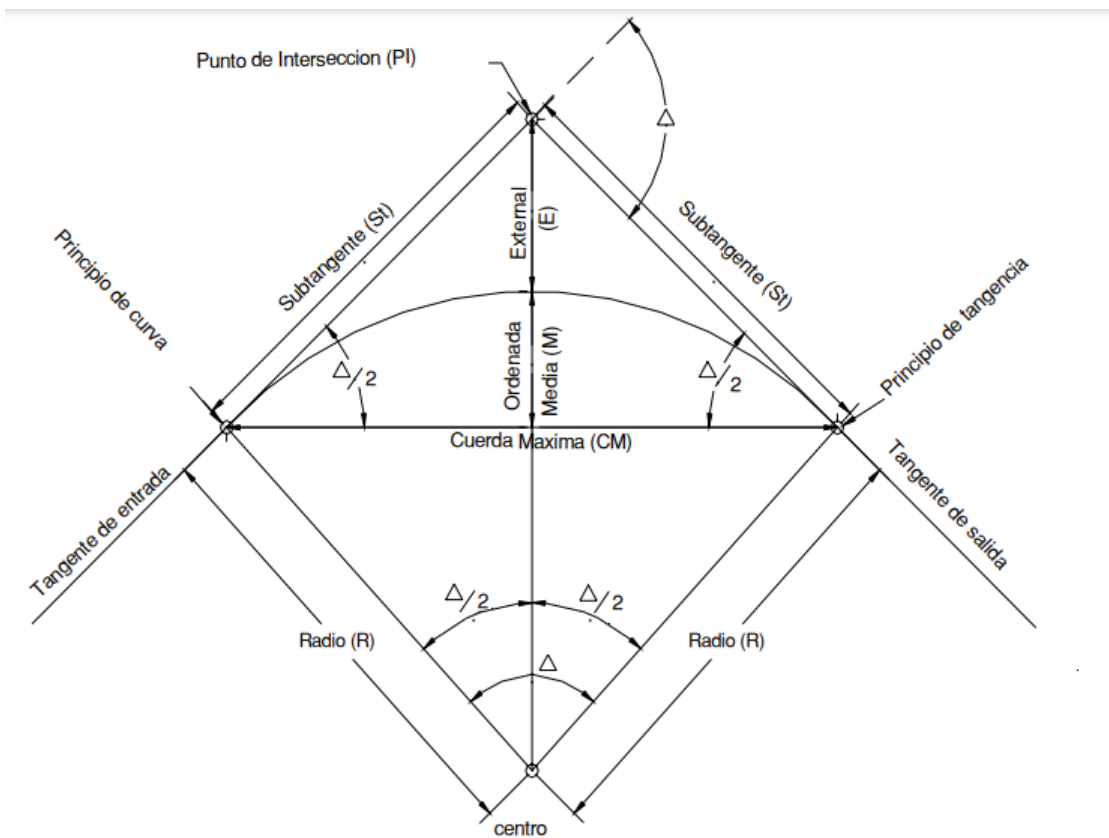
puntos fijos del camino durante mucho tiempo, o bien, porque favorecen los deslumbramientos durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación a esas curvas.

2.3 Curvas circulares

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

Curvas circulares simples: Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, ésta se denomina curva simple. En el sentido del alineamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha. Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la siguiente figura.



Elementos de las curvas circulares simples:

- **Ángulo de deflexión (Δ):** el que se forma con la prolongación de uno de los alineamientos rectos y el siguiente. Puede ser a la izquierda o a la derecha según si está medido en sentido anti-horario o a favor

de las manecillas del reloj, respectivamente. Es igual al ángulo central subtendido por el arco (Δ).

- **Tangente [T]:** distancia desde el punto de intersección de las tangentes (PI) los alineamientos rectos también se conocen con el nombre de tangentes
- **Punto de Intersección (PI):** punto de convergencia de 2 líneas que conforman un cambio de dirección en el alineamiento de una carretera
- **Punto de Intersección (PI):** punto de convergencia de 2 líneas que conforman un cambio de dirección en el alineamiento de una carretera.
- **Principio de curva (PC):** punto en el alineamiento horizontal donde se inicia la curva

$$Pc = PI$$

- **Principio de tangente (PT):** punto donde finaliza la curva

$$PT = PC + LC$$

- **Longitud de la curva:** es la distancia desde el PC hasta el PT, medido a lo largo de la curva, según la definición por arco de 20 m. Se representa como L.C.

$$LC = \frac{20 \Delta}{G}$$

- **Grado de curvatura (Gc):** este se define por el arco o por la cuerda, el grado de curvatura es el ángulo central subtendido por un arco de 20 mts.

$$\frac{G^\circ}{360^\circ} = \frac{20}{2 \pi R}$$

- **Sub tangente (St):** es la distancia entre el PC y el PI, también entre el PI y el PT.

$$St = R * \tan (\Delta/2)$$

- **Radio (R):** es el de la circunferencia que describe el arco de la curva. El radio de las curvas a usar se determina por condiciones o por elementos de diseño para que los vehículos puedan salvarlas sin peligro de colisión, con seguridad, tratando de que la maniobra de cambio de dirección se efectúe sin esfuerzos demasiado bruscos.

$$R = \frac{1145.9156}{G^\circ}$$

- **Cuerda máxima:** es la distancia en línea recta desde el PC al PT. Se representa por C.M.

$$CM = (2)(R) \left(\text{Sen} \frac{\Delta}{2} \right)$$

- **External:** es la distancia mínima entre el PI y la curva. Se representa con la letra E.

$$E = \frac{(R) \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right)}{\cos \frac{\Delta}{2}}$$

- **Ordenada media:** es la distancia radial entre el punto medio de la cuerda principal y el punto medio de la curva. Se simboliza con la letra OM.

$$OM = (R) \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right)$$

2.4 Curvas circulares compuestas

Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos líneas consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.

En caminos debe evitarse éste tipo de curvas, porque introducen cambios de curvatura muy peligrosos; sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación.

Se clasifican en curvas Bi-céntricas (2 radios, 2 centros), Tri-céntricas (3 radios, 3 centros), Poli-céntricas (4 o más radios).

- **Curva bi-céntrica**

Entre cada dos círculos contiguos de una curva compuesta hay un punto común de tangencia, denominado PCC (Punto común de las curvas), donde los radios son distintos, pero con la misma dirección. Las curvas compuestas pueden resultar ventajosas para adaptarse a topografía difíciles, sobre todo en terrenos montañosos; pero desde los puntos de vista operacional y estético son objetables. Cuando la diferencia entre los radios de dos círculos consecutivos es grande, el cambio brusco de dirección en el PCC obliga a maniobras riesgosas del conductor, quien puede perder el control de su vehículo. Así mismo, el cambio sorpresivo de velocidad al cual son sometidos los conductores resulta en una operación desagradable y peligrosa. También son de apariencia poco placentera, pues en el punto de unión (PCC) da la impresión de un quiebre pronunciado.

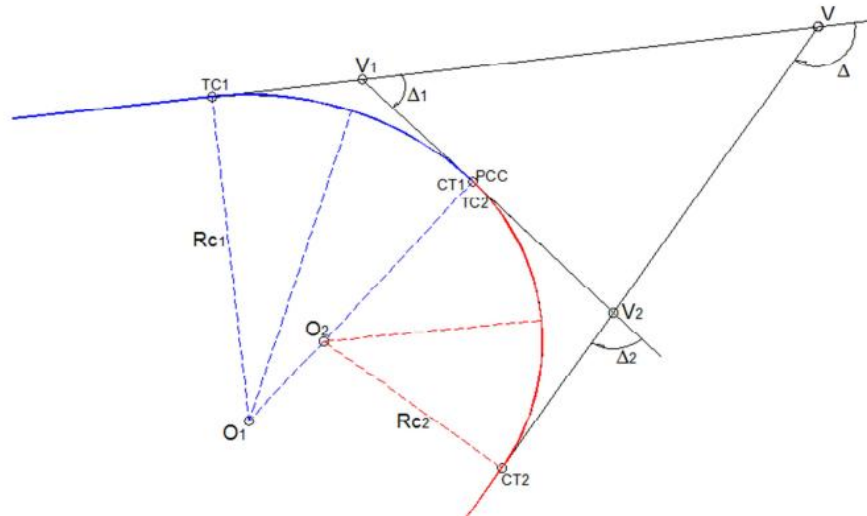


Fig. Elementos de una curva bicéntrica



Fig. Un ejemplo de aplicación de las curvas bi-céntricas

2.5 Curvas inversas

Una curva inversa consta de dos curvas circulares con direcciones opuestas. Por lo general, implica una sección tangente entre las dos curvas. Las curvas inversas se utilizan cuando se necesita un cambio significativo en la dirección de alineación. Ayudan a proporcionar una transición suave entre las dos curvas. Se coloca una curva después de la otra en sentido contrario con la tangente común.

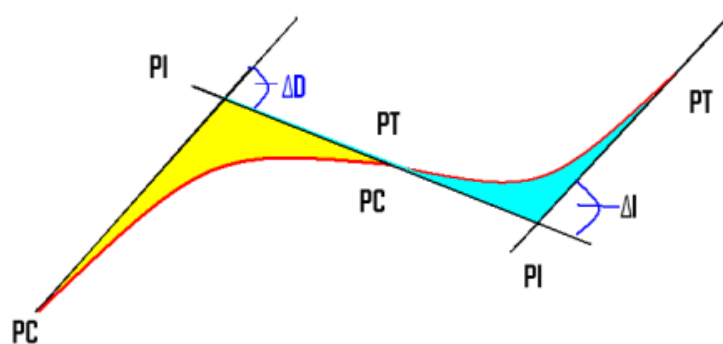


Fig. Representación de 2 curvas inversas

2.6 Curva de transición

Una curva de transición en topografía se utiliza para proporcionar una transición suave entre una sección tangente y una curva circular. Aumenta o disminuye gradualmente la curvatura. Se utiliza a menudo cuando un vehículo o tren necesita pasar de una trayectoria recta a una curva circular o viceversa.

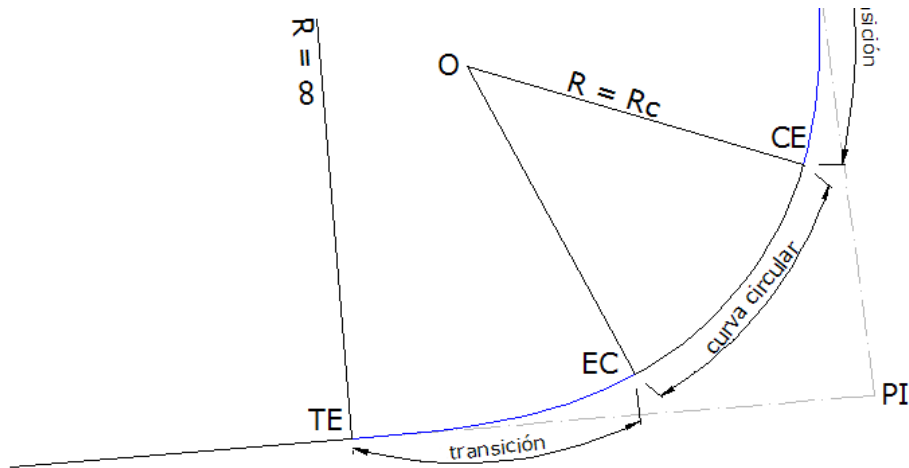
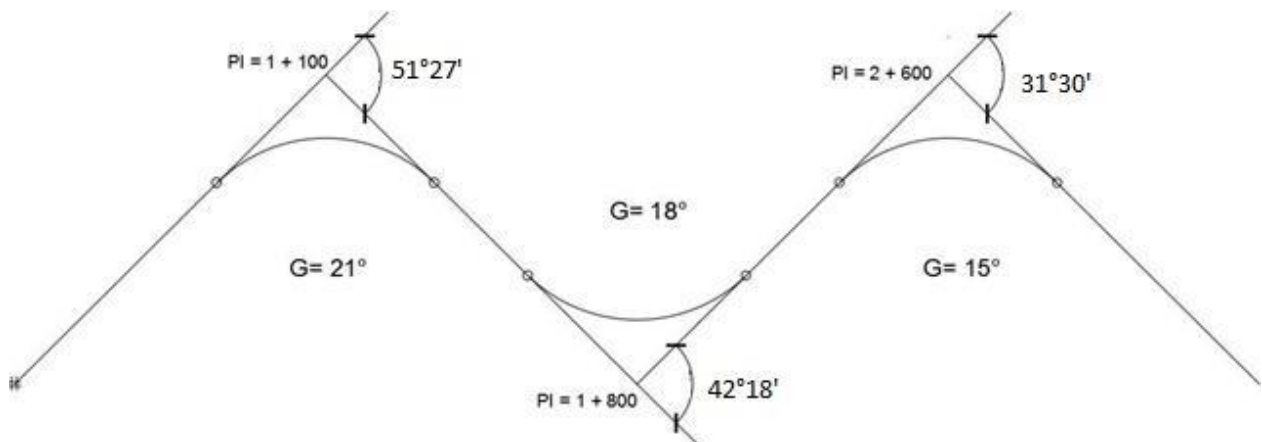


Fig. Representación de una curva de transición

Ejemplo:

Calcular los elementos geométricos de las curvas simples del siguiente tramo de carretera con los datos brindados a continuación. La carretera será tipo y la topografía es ondulada.



Curva 1

- Se calcula el radio

$$R = \frac{1145.91}{21^\circ} = 54.57 \text{ m}$$

- Se calcula la sub tangente y el principio de curva

$$St = (54.57) * \tan\left(\frac{51^{\circ}27'}{2}\right) = 26.29 \text{ m}$$

$$Pc = (1100) - 26.29 = 1073.71 = 1 + 073.71$$

- Se calcula la longitud de curva y el principio de tangente

$$Lc = \frac{(51^{\circ}27')(20)}{21^{\circ}} = 49 \text{ m}$$

$$PT = (1073.71) + 49 = 1122.71 = 1 + 122.71$$

- Por último, se calcula la cuerda máxima y la externa

$$Cmax = (2)(54.57) * \text{sen}\left(\frac{51^{\circ}27'}{2}\right) = 47.37 \text{ m}$$

$$E = 54.57 * \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{51^{\circ}27'}{2}\right)} - 1\right) = 6.00 \text{ m}$$

Curva 2

Se realiza el mismo procedimiento llevado a cabo en el cálculo de los elementos de la curva No. 1

$$R = \frac{1145.91}{18^{\circ}} = 63.66 \text{ m}$$

$$St = (63.66) * \tan\left(\frac{42^{\circ}18'}{2}\right) = 24.63 \text{ m}$$

$$Tg = (1 + 800) - (1 + 100) - (26.29\text{m}) - (24.63\text{m}) = 649.08 \text{ m}$$

$$Pc = (1 + 122.71) + Tg = (1 + 122.71) + 649.08 = 1 + 771.79$$

$$Lc = \frac{(42^{\circ}18')(20)}{18^{\circ}} = 47 \text{ m}$$

$$PT = (1 + 771.79) + 47 = 1 + 818.79$$

$$Cmax = (2)(63.66) * \text{sen}\left(\frac{42^{\circ}18'}{2}\right) = 45.94 \text{ m}$$

$$E = 63.66 * \left(\frac{1}{\cos\cos\left(\frac{42^{\circ}18'}{2}\right)} - 1\right) = 4.60 \text{ m}$$

Curva 3

Se realiza el mismo procedimiento llevado a cabo en el cálculo de los elementos de la curva No. 2

$$R = \frac{1145.91}{15^\circ} = 76.39 \text{ m}$$

$$St = (76.39) * \tan\left(\frac{31^\circ 30'}{2}\right) = 21.544 \text{ m}$$

$$Tg = (2600) - (1800) - (24.63\text{m}) - (21.544\text{m}) = 753.83 \text{ m}$$

$$Pc = (1 + 818.79) + Tg = (1 + 818.79) + 753.83 = 2 + 572.62$$

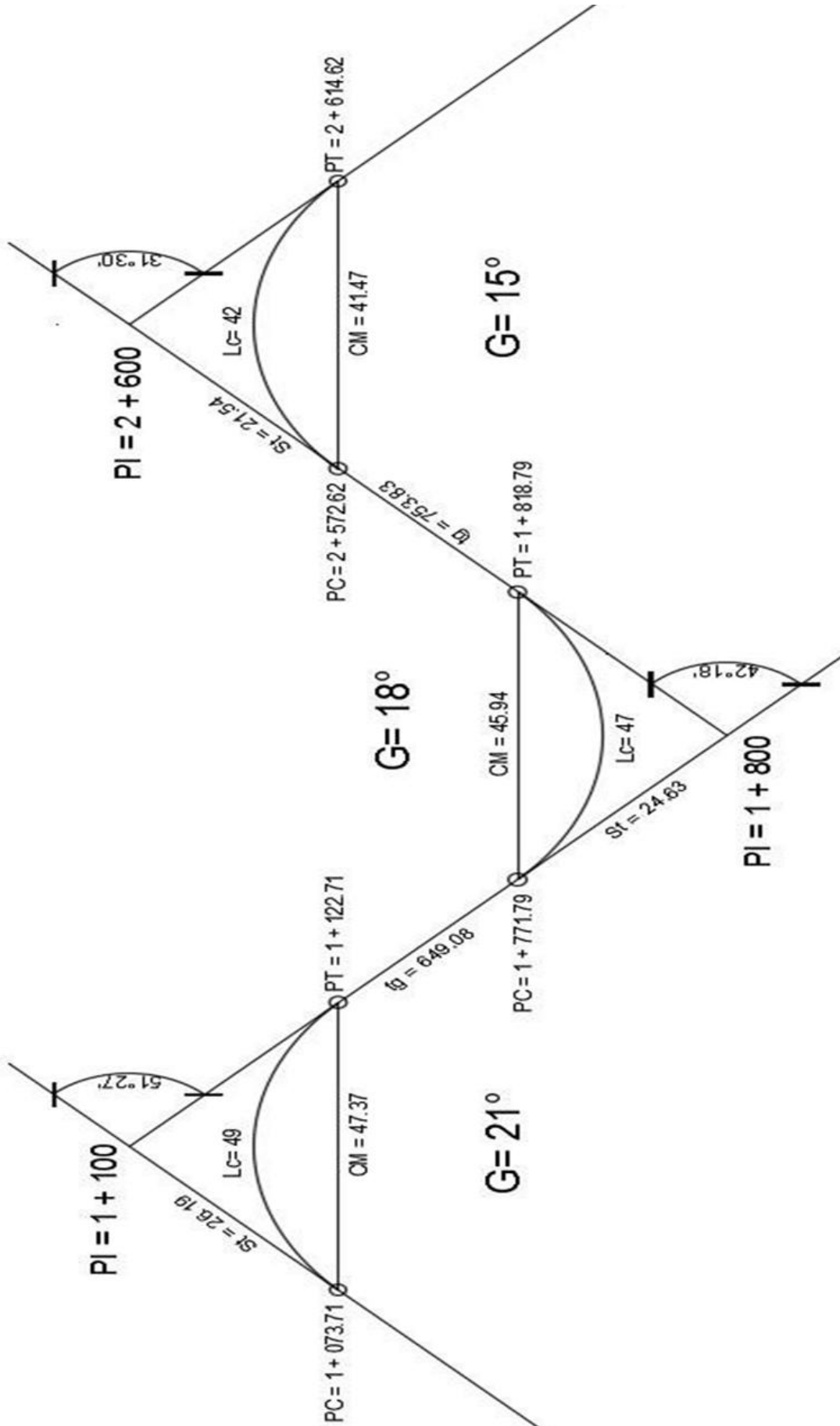
$$Lc = \frac{(31^\circ 30')(20)}{15^\circ} = 42 \text{ m}$$

$$PT = (2 + 572.62) + 42 = 2 + 614.62$$

$$Cmax = (2)(76.39) * \text{sen}\left(\frac{31^\circ 30'}{2}\right) = 41.47 \text{ m}$$

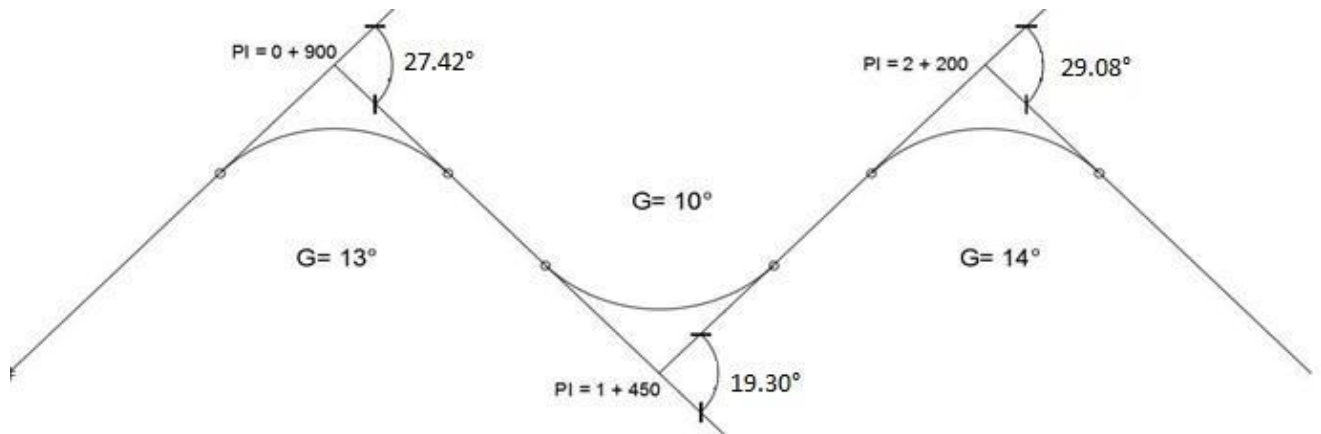
$$E = 76.39 * \left(\frac{1}{\cos \cos\left(\frac{31^\circ 30'}{2}\right)} - 1\right) = 2.98 \text{ m}$$

Los resultados obtenidos se representan en la siguiente figura, se detallan los PC y PT de cada curva.



3. Reportar:

Calcular las tangentes y todos los elementos de las curvas simples del tramo de carretera con los datos brindados a continuación:



HOJA DE TRABAJO No.2

Calcular las tangentes y todos los elementos de las curvas simples del siguiente tramo de carretera con los datos brindados a continuación.

Considere el valor de G, adecuado para cumplir con el radio mínimo requerido para una carretera tipo D y con topografía montañosa.

1) Curva 1

PI:0+063m

$\Delta:27^{\circ}17'24''$

2) Curva 2

PI:0+193m

$\Delta:25^{\circ}28'48''$

3) Curva 3

PI:0+347.2m

$\Delta:62^{\circ}38'12''$

4) Curva 4

PI:0+686.5m

$\Delta:31^{\circ}29'15''$

5) Curva 5

PI:0+912.3 m

$\Delta:48^{\circ}22'00''$

PRÁCTICA No. 3

REPLANTEO DE CURVAS HORIZONTALES

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Identificar el proceso para el trazo de una curva en el área de campo.
- 1.2 Conocer el método de deflexiones para el trazo de curvas circulares.
- 1.3 Aplicar conceptos y técnicas para el replanteo de elementos horizontales en una carretera.

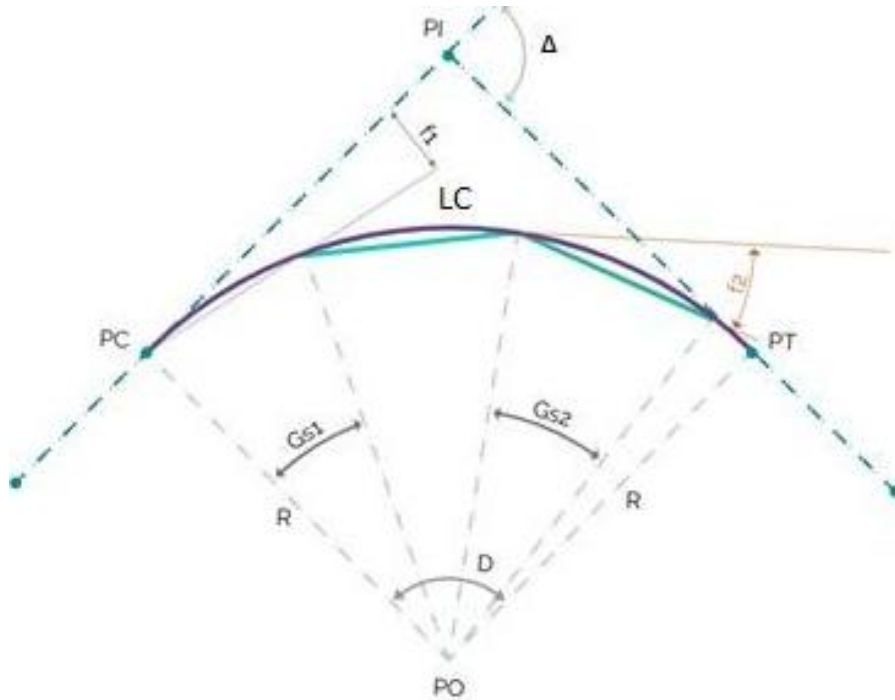
2. Marco Teórico:

Existen varios métodos para el replanteo de curvas horizontales, sin embargo, el método más usado en Centro América, México y Estados Unidos es el las Deflexiones por lo que es el que se abordará.

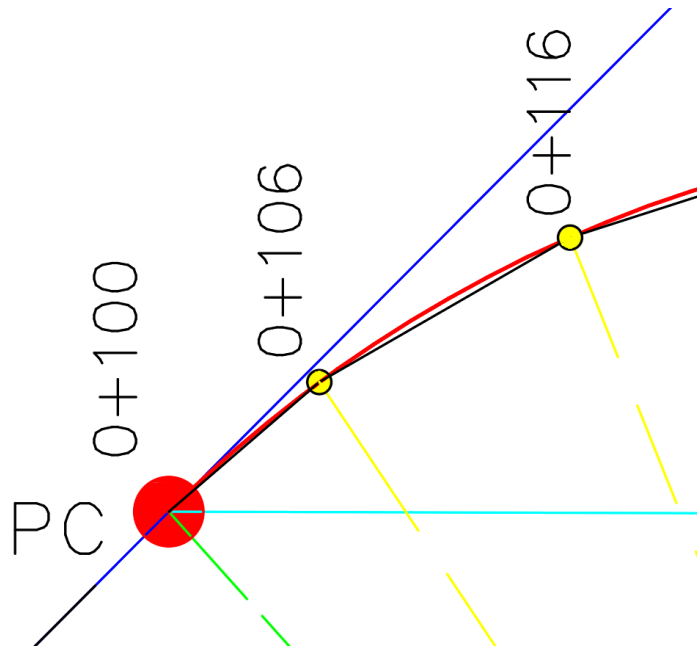
2.1 Método de deflexiones:

La localización de una curva se hace generalmente por ángulos de deflexión y cuerdas. Los Ángulos de deflexión son los ángulos formados por la tangente y cada una de las cuerdas que parten desde el PC a los diferentes puntos donde se colocarán estacas por donde pasará la curva.

Este método consiste en calcular el grado de curvatura "Gs", la deflexión total " δ_c ", para cada "C", o distancia entre estacas en la longitud de curva, es decir entre PC y PT; así como también la deflexión por metro lineal " δ_m " para las distancias que no suman el valor de "C".



Por un teorema de geometría se sabe que el ángulo semi-inscrito (f) es igual a la mitad del ángulo central (G_s), indiferentemente del punto de tangencia que se tome sobre la curva y se expresaría:



En las ilustraciones podemos ejemplificar que los segmentos tienen un valor de 10 m debido a que la longitud de curva corresponde a 72 m. A partir del centro de la curva se colocaron segmentos de 10 m y observamos que al no coincidir con un número entero múltiplo del valor del arco, en los extremos el valor de este se reduce a 6 m, de manera que la suma total de segmento sea equivalente al valor de longitud de curva

El valor f también llamado deflexión, se representará en las siguientes formulas con el símbolo δ .

Con base en la siguiente fórmula se calcula la deflexión adyacente al PT:

$$\frac{\delta}{C} = \frac{\Delta/2}{Lc}$$

Donde:

δ = Deflexión calculada (en grados)

Δ = Ángulo de deflexión

Lc = Longitud de la curva

C = Longitud de cuerda elegida para el segmento circular (de acuerdo al valor de R)

Al despejar δ , obtenemos

$$\delta = \frac{C \Delta}{2Lc} \quad \delta = f = \frac{C \Delta}{2Lc}$$

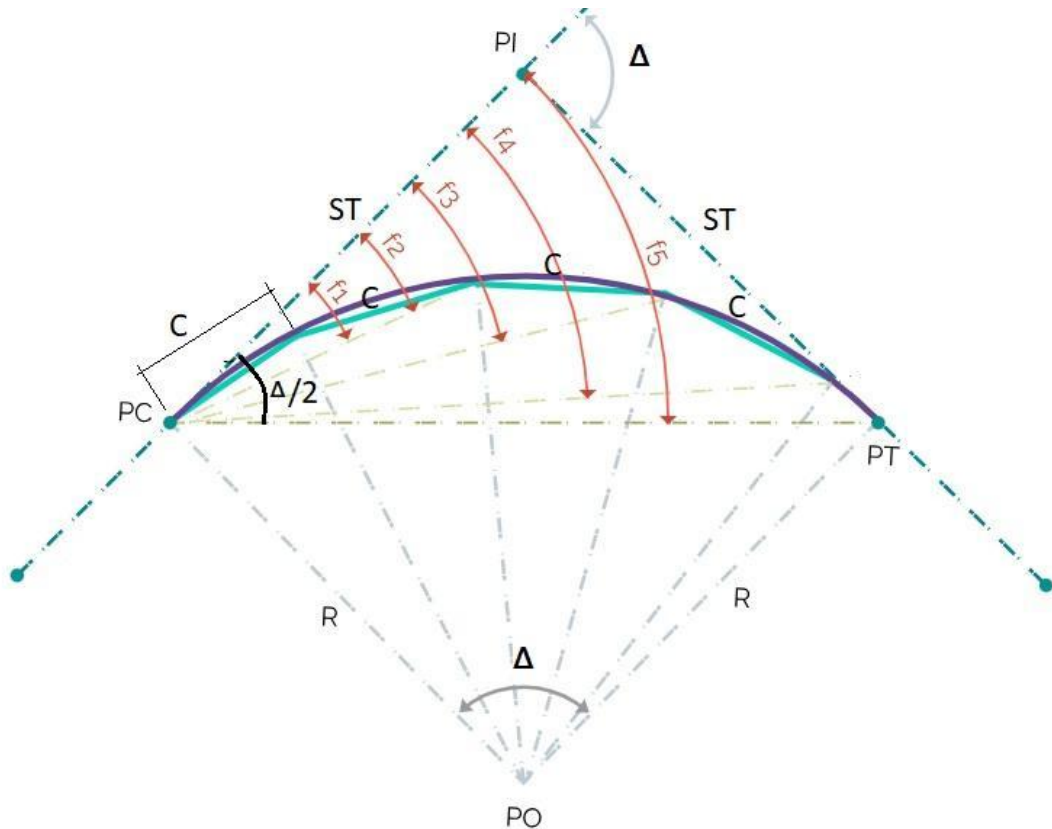


Fig. Detalle de las deflexiones respecto al PC:

Observamos que cada valor de f o δ , se incrementa conforme se aleja la progresiva del PC, hasta obtener el último ángulo igual a $\Delta/2$, cuando el valor de C es equivalente a la longitud de la curva.

2.2 Elementos de curva

Previo a calcular las deflexiones es necesario calcular los elementos de curva horizontal siguientes:

- Sub-tangente

$$St = (R) * \tan (\Delta/2)$$

- Principio de curva

$$Pc = PC - St$$

- Grado de curvatura

$$G = \frac{1145.9156}{R}$$

- Longitud de cuerda

$$LC = \frac{20 \Delta}{G}$$

- Principio de tangente

$$PT = PC + LC$$

- Centro de la cuerda

$$CC = PC + \frac{LC}{2}$$

Ejemplo:

La estación del PI de una curva circular es 0+078.07, $\Delta = 95^\circ 28' 15''$ y $R = 60$ m. Calcular EST de PC, PT y estaciones a cada 10 m para replanteo por la magnitud del radio.

- **Se calculan los elementos de la curva**

$$R = 60 \text{ m}$$

$$St = (60 \text{ m}) * \tan\left(\frac{95^\circ 28' 15''}{2}\right) = 66.02 \text{ m}$$

$$Pc = PC - St = (0 + 078.07) - 66.02 = 0 + 012.05 \text{ km}$$

$$G = \frac{1145.9156}{R} = \frac{1145.9156}{60} = 19.10^\circ$$

$$LC = \frac{20 \Delta}{G} = \frac{20 (95^\circ 28' 15'')}{19.10^\circ} = 99.97 \text{ m}$$

$$PT = PC + LC = (0 + 012.05) + 99.97 = 0 + 112.02$$

$$CC = PC + \frac{LC}{2} = 0 + 012.05 + \frac{99.97}{2} = 0 + 062.04$$

- **Se calculan las deflexiones:**

El ángulo $\Delta = 95^\circ 28' 15''$ se convierte a decimales:

$$\Delta = 95^\circ 28' 15'' = 95^\circ + \frac{28'}{60} + \frac{15''}{3600} = 95.4708^\circ$$

EST 0+012.05

$$\text{Cuerda parcial} = 0 \text{ m}$$

$$\text{Cuerda acumulada} = 0 \text{ m}$$

$$\delta = 0 \text{ m}$$

EST 0+020.00

$$\text{Cuerda parcial} = C = 20\text{m} - 12.05\text{m} = 7.95 \text{ m}$$

$$\text{Cuerda acumulada} = 7.95 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{C \Delta}{2Lc}$$

$$\delta = \frac{7.95\text{m} * 95.4708^\circ}{2 * 99.97\text{m}} = 3.796^\circ$$

EST 0+030.00

$$\text{Cuerda parcial} = C = 10 \text{ m}$$

$$\text{Cuerda acumulada} = 17.95 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{17.95\text{m} * 95.4708^\circ}{2 * 99.97\text{m}} = 8.571^\circ$$

EST 0+040.00

$$\text{Cuerda parcial} = 10 \text{ m}$$

$$\text{Cuerda acumulada} = 27.95 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{27.95\text{m} * 95.4708^\circ}{2 * 99.97\text{m}} = 13.346^\circ$$

EST 0+050.00

$$\text{Cuerda parcial} = C = 10 \text{ m}$$

$$\text{Cuerda acumulada} = 37.95 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{37.95\text{m} * 95.4708^\circ}{2 * 99.97\text{m}} = 18.121^\circ$$

* Se hace el mismo procedimiento para las demás estaciones.

Tabla de resultados: En la tabla se resumen las deflexiones obtenidas para cada progresiva de la curva.

Estación	Progresiva	Cuerda parcial	Cuerda acumulada	δ
PC	0+012.05	0.00	0	0
	0+020.00	7.95	7.95	3.796°
	0+030.00	10.00	17.95	8.571°
	0+040.00	10.00	27.95	13.346°
	0+050.00	10.00	37.95	18.121°
	0+060.00	10.00	47.95	22.896°
	0+062.04	2.04	49.99	23.870°
	0+070.00	7.96	57.95	27.671°
	0+080.00	10.00	67.95	32.446°
	0+090.00	10.00	77.95	37.221°
	0+100.00	10.00	87.95	41.996°
	0+110.00	10.00	97.95	46.771°
PT	0+112.03	2.03	99.98	47.740°

2.3 Procedimiento para replantar en campo

En gabinete

- Calcular los elementos de la curva a replantar: Se debe calcular en gabinete los elementos de la curva, así como la deflexión al PC, PM, PT y contar con la información en un formato que sea fácil de comprender.
- Hallamos la curva horizontal por el método de deflexión, esto se realiza de acuerdo al método explicado con anterioridad.

En campo

- Posicionar el teodolito en las coordenadas del PI
- Ubicar los puntos PC, PT y referenciarlos con una estaca.

- Trasladar el equipo al PC y hacemos ceros el ángulo horizontal el PI y empezamos a medir los ángulos de hacia la derecha medidos desde el PC.
- La primera Sub cuerda de entrada medida será la distancia que falta para llegar hasta la progresiva en un múltiplo de 5m y a partir de allí se empieza a medir con una cuerda de unidad C definidos en gabinete (Recordar que este valor depende del radio de la curva).
- Se mide todos los ángulos de deflexión hasta llegar a la progresiva PT que es la más lejana que se puede observar desde el PC.
- Materializamos todas las progresivas medidas desde el PC mediante estacas y además se marcan con pintura.
- Y finalmente se obtiene la curva.

En la siguiente imagen se observa un ejemplo de la recolección de datos en campo para el replanteo de curvas horizontales.

teodolito: sookia DT7		869.30		Coordenadas de PI								
anteojo: Directo		1.34		Este	745467							
				Norte	9364358							
		00°	00' 00"	0.000	PI NC							
Pto	Dist.	Angulo Vertical			m	Observaciones	alfa		DH	h	COTA	
N°	(m)	grad	min	seg	GRAD		GRAD	RAD	(m)	(m)	(m)	
1	38.00	86°	31'	40"	86.52777778	1.81	PT	3.47222222	0.06060171	37.86	2.30	871.13
2	33.10	86°	49'	30"	86.82500000	1.47	curva	3.17500000	0.05541420	33.00	1.83	871.00
3	24.50	86°	34'	40"	86.57777778	0.72	curva	3.42222222	0.05972905	24.41	1.46	871.38
4	18.60	86°	20'	20"	86.33888889	0.99	curva	3.66111111	0.06389844	18.52	1.19	870.83
5	14.30	82°	54'	40"	82.91111111	1.47	curva	7.08888889	0.12372445	14.08	1.75	870.92
6	11.10	81°	49'	50"	81.83055556	1.46	curva	8.16944444	0.14258370	10.88	1.56	870.74
7	11.00	82°	26'	20"	82.43888889	1.36	curva	7.56111111	0.13196628	10.81	1.43	870.71
8	12.00	86°	29'	50"	86.49722222	1.36	curva	3.50277778	0.06113501	11.96	0.73	870.01
9	16.00	88°	06'	30"	88.10833333	1.38	curva	1.89166667	0.03301581	15.98	0.53	869.79
10	20.20	99°	20'	00"	99.33333333	1.10	curva	-9.33333333	-0.16289740	19.67	-3.23	866.31
11	29.30	91°	16'	00"	91.26666667	1.55	curva	-1.26666667	-0.02210750	29.29	-0.65	868.44
12	34.20	91°	17'	40"	91.29444444	2.97	curva	-1.29444444	-0.02259232	34.18	-0.77	866.90
13	38.00	91°	35'	50"	91.59722222	3.69	PC	-1.59722222	-0.02787679	37.97	-1.06	865.89

Fig. Ejemplo de tabla de campo para replanteo de curvas horizontales.

Reportar:

1) Replantear la siguiente curva horizontal mediante el método de deflexiones:

- PI = 1+500
- Δ = 104° 13' 26"
- R = 200 m

2) Replantear la siguiente curva horizontal mediante el método de deflexiones:

- PI = 0+322.02
- Δ = 92° 15' 10.01"
- G = 10°

HOJA DE TRABAJO NO. 3

1. Replantear la siguiente curva horizontal mediante el método de deflexiones:

- $PI = 1+063.07m$
- $\Delta = 39^\circ 40'$
- $R = 125 m$

2. Replantear la siguiente curva horizontal mediante el método de deflexiones:

- $PI = 0+177.82m$
- $\Delta = 15^\circ 48' 36''$
- $G = 11.46^\circ$

PRÁCTICA No. 4

DISEÑO GEOMÉTRICO VERTICAL

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Conocer conceptos generales para el diseño del alineamiento vertical de una carretera.
- 1.2 Interpretar los elementos que conforman una curva vertical.
- 1.3 Determinar las correcciones de los elementos geométricos de las curvas verticales.

2. Marco Teórico:

2.1 Diseño geométrico vertical

Consiste en determinar el perfil de la carretera, es decir, la rasante, de tal forma que proporcione seguridad, comodidad y buena apariencia. La rasante está constituida a semejanza del diseño horizontal por una serie de rectas enlazadas por arcos verticales generalmente parabólicos a los cuales dichas rectas son tangentes.

El alineamiento horizontal y el alineamiento vertical deben ser consistentes y balanceados, en forma tal que los parámetros del primero correspondan y sean congruentes con los del segundo. Por lo tanto, es necesario que los elementos del diseño vertical tengan la misma velocidad específica del sector en planta que coincide con el elemento vertical en estudio.

Lo ideal es la obtención de rasantes largas con un ajuste óptimo de curvas verticales y curvas horizontales a las condiciones del tránsito y a las características del terreno, generando un proyecto lo más económico posible tanto en su construcción como para su operación.

2.2 Elementos geométricos que integran el alineamiento vertical

Al igual que el diseño en planta, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales, enlazados entre sí por curvas verticales. La pendiente de las tangentes verticales y la longitud de las curvas dependen principalmente de la topografía de la zona, del alineamiento horizontal, de la visibilidad, de la velocidad del proyecto, de los costos de construcción, de los costos de operación, del porcentaje de vehículos pesados y de su rendimiento en los ascensos.

2.3 Tangentes verticales

Las tangentes sobre un plano vertical se caracterizan por su longitud y su pendiente, y están limitadas por dos curvas sucesivas. De acuerdo con la siguiente figura, la longitud T_v de una tangente vertical es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente.

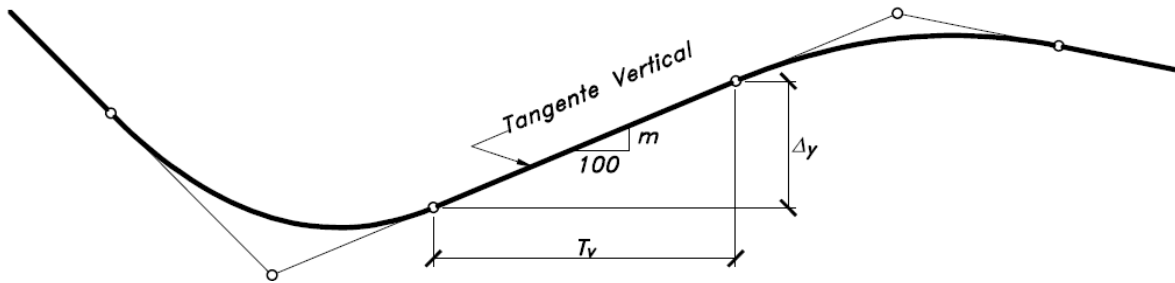


Fig. La tangente vertical

La pendiente m de la tangente vertical es la relación entre el desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma. Por lo tanto:

$$m = \left(\frac{\Delta Y}{T_v}\right) * 100$$

Para propósitos del diseño vial, las pendientes deben limitarse dentro de un rango normal de valores, de acuerdo al tipo de vía que se trate, por lo que así se tendrán pendientes máximas y mínimas.

La pendiente máxima es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Su valor queda determinado por el volumen de tránsito futuro y su composición, por la configuración o tipo de terreno por donde pasará la vía y por la velocidad de diseño.

La pendiente mínima es la menor pendiente longitudinal de la rasante que se permite en el proyecto. Su valor se fija para facilitar el escurrimiento longitudinal de las aguas lluvias sobre la superficie de rodadura y en las cunetas, pudiendo variar según se trate de un tramo en terraplén o en corte y de acuerdo al tipo de terreno. La pendiente mínima que garantiza el adecuado funcionamiento de las cunetas debe ser de 0.5% como pendiente mínima deseable y 0.3% para diseño en terreno plano o sitios donde no es posible el diseño con la pendiente mínima deseable.

2.4 Curvas verticales

Una curva vertical es aquel elemento del diseño en perfil que permite el enlace de dos tangentes verticales consecutivas, tal que a lo largo de su longitud se efectúa el cambio gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la pendiente de la tangente de salida, de tal forma que facilite una operación vehicular segura y confortable, que sea de apariencia agradable y que permita un drenaje adecuado. Se ha comprobado que la curva que mejor se ajusta a estas condiciones es la parábola de eje vertical.

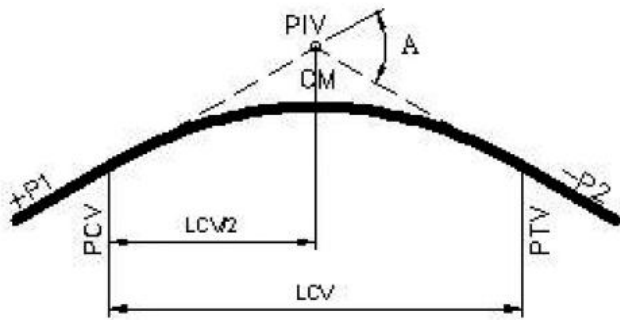
Su función principal es servir de enlace entre 2 tangentes o alineamientos verticales, para que a través de ellas se desarrolle el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la tangente de salida.

2.5 Curvas verticales simétricas

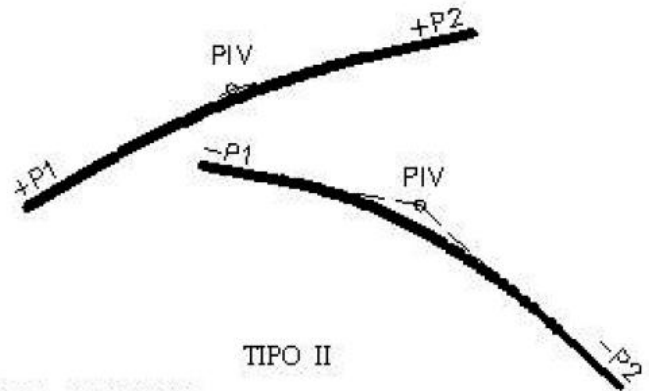
La parábola utilizada para el enlace de dos tangentes verticales consecutivas debe poseer las siguientes propiedades:

- La razón de variación de su pendiente a lo largo de su longitud es una constante.

- La proyección horizontal del punto de intersección de las tangentes verticales está en la mitad de la línea que une las proyecciones horizontales de los puntos de tangencia extremos, donde empieza y termina la curva.
- Los elementos verticales de la curva (alturas o cotas) varían proporcionalmente con el cuadrado de los elementos horizontales (abscisas).
- La pendiente de cualquier cuerda de la parábola, es el promedio de las pendientes de las líneas tangentes a ella en sus respectivos extremos.

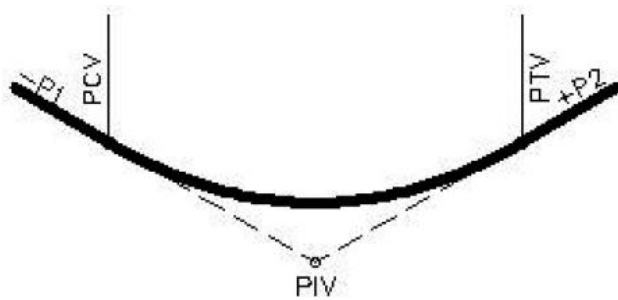


TIPO I



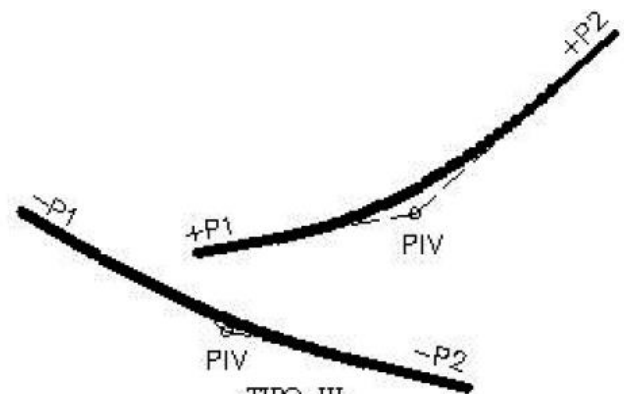
TIPO II

CURVAS VERTICALES CONVEXAS



TIPO III

P1 y P2 = Pendiente de la tangente, %
 A = Diferencia algebraica de pendientes, %
 LCV = Longitud de la Curva Vertical



TIPO IV

CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS

P1 y P2 = Pendiente de la tangente, %

A = Diferencia algebraica de pendientes, %

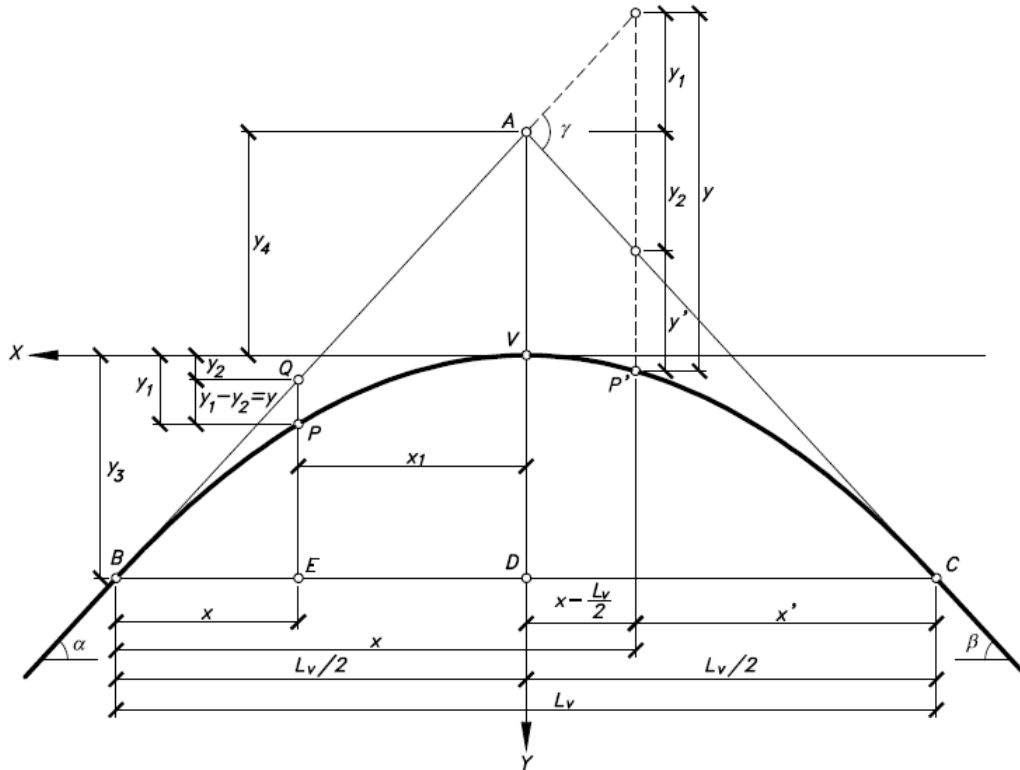


Fig. Elementos que conforman una curva vertical

➤ **Abreviaturas empleadas en el diseño geométrico vertical**

PCV = Principio de curva vertical. Donde inicia la curva. (Punto B)

PIV = Punto de intersección de las curvas verticales. Es el punto donde se interceptan las dos tangentes verticales, en la imagen anterior se representa con el símbolo A

PTV = Principio de tangente vertical. Donde termina la curva. (Punto C)

LCV = Longitud de curva vertical, medida en proyección horizontal.

Ev = Externa vertical. Es la distancia vertical del PIV a la curva.

Y = Cota en determinado punto de la curva

X = Punto horizontal a través del segmento de cuerda de la curva vertical

OM = Ordenada media, es la distancia radial entre el punto medio de la cuerda principal y el punto medio de la curva (Distancia del punto V al punto D, en la imagen anterior). Se simboliza con la letra OM.

$\alpha = P1$ = Ángulo de pendiente de la tangente de entrada.

$\beta = P2$ = Ángulo de pendiente de la tangente de salida.

$\gamma = \text{Delta}$ = Ángulo entre las dos tangentes. Ángulo de deflexión vertical.

Cota = Número que indica la altura de un punto en relación al nivel del mar o a otro plano de nivel

➤ **Cálculo de elementos del alineamiento Vertical:**

- **Criterio de Seguridad:** Para determinar la longitud mínima de una curva vertical tenemos la fórmula:

$$LVC = KA$$

Donde,

LVC = Longitud de curva.

K = Relación entre la longitud de curva y el cambio de pendiente.

A = Diferencia algebraica de pendientes. (Pendiente de entrada y pendiente de salida)

- **Proporción de curvatura vertical:** Se definen valores de K mínimos según la velocidad de diseño. Este valor expresa la brusquedad del cambio de pendiente. Para el diseño de curvas verticales, se pueden considerar factores como: Distancia de visibilidad, Distancia de frenado, Alcance de los faros, Requerimientos de drenaje. Estos valores fueron tomados de la AASHTO.

Metric				US Customary			
Design speed (km/h)	Stopping sight distance (m)	Rate of vertical curvature, K ^a		Design speed (mph)	Stopping sight distance (ft)	Rate of vertical curvature, K ^a	
		Calculated	Design			Calculated	Design
20	20	0.6	1	15	80	3.0	3
30	35	1.9	2	20	115	6.1	7
40	50	3.8	4	25	155	11.1	12
50	65	6.4	7	30	200	18.5	19
60	85	11.0	11	35	250	29.0	29
70	105	16.8	17	40	305	43.1	44
80	130	25.7	26	45	360	60.1	61
90	160	38.9	39	50	425	83.7	84
100	185	52.0	52	55	495	113.5	114
110	220	73.6	74	60	570	150.6	151
120	250	95.0	95	65	645	192.8	193
130	285	123.4	124	70	730	246.9	247
				75	820	311.6	312
				80	910	383.7	384

^a Rate of vertical curvature, K, is the length of curve per percent algebraic difference in intersecting grades (A). $K = L/A$

Valores de K, para curvas convexas

Metric				US Customary			
Design speed (km/h)	Stopping sight distance (m)	Rate of vertical curvature, K ^a		Design speed (mph)	Stopping sight distance (ft)	Rate of vertical curvature, K ^a	
		Calculated	Design			Calculated	Design
20	20	2.1	3	15	80	9.4	10
30	35	5.1	6	20	115	16.5	17
40	50	8.5	9	25	155	25.5	26
50	65	12.2	13	30	200	36.4	37
60	85	17.3	18	35	250	49.0	49
70	105	22.6	23	40	305	63.4	64
80	130	29.4	30	45	360	78.1	79
90	160	37.6	38	50	425	95.7	96
100	185	44.6	45	55	495	114.9	115
110	220	54.4	55	60	570	135.7	136
120	250	62.8	63	65	645	156.5	157
130	285	72.7	73	70	730	180.3	181
				75	820	205.6	206
				80	910	231.0	231

^a Rate of vertical curvature, K, is the length of curve (m) per percent algebraic difference intersecting grades (A). $K = L/A$

Valores de K, para curvas cóncavas

- K de diseño

$$K_{diseño} > K_{AASHTO}$$

- Ordenada media:

$$OM = Lc * \frac{A}{800}$$

- Punto de intersección vertical (PIV)

$$PIV_{corregido} = ELEV Piv + OM$$

- Principio de curva vertical

$$PCV = PIV - \frac{LC}{2}$$

- Principio de tangente vertical

$$PTV = PIV + \frac{LC}{2}$$

EJEMPLO:

Diseñe la siguiente curva vertical a partir de los siguientes datos:

- $P1 = P \text{ entrada} = -6.75\%$
- $P2 = P \text{ salida} = -0.26\%$
- $PIV = 0 + 029.06$
- $Elevación \text{ PIV} = 97.85 \text{ m}$
- Velocidad de diseño = 30 km/h

Calcular la diferencia de pendientes

$$A = P \text{ salida} - P \text{ entrada}$$

$$A = -0.26\% - (-6.75\%) = 6.49 \%$$

Tipo de curva: Curva cóncava (DEBIDO A QUE LA PENDIENTE DE ENTRADA ES MAYOR A LA PENDIENTE DE SALIDA)

Longitud de curva mínima

$$L_c = K * A\%$$

$$L_c = 6 * 6.49 = 38.94 \text{ m}$$

$$L_{c \text{ diseño}} = 40 \text{ m}$$

K de diseño

$$K = \frac{40 \text{ m}}{6.49} = 6.16$$

$$K_{\text{diseño}} > K_{\text{AASHTO}}$$

Ordenada media

$$OM = L_c * \frac{A}{800} \quad OM = 40 \text{ m} * \frac{6.49}{800} = 0.32 \text{ m}$$

Punto de inflexión

$$Cota \text{ PIV}_{\text{corregida}} = 97.85 \text{ m} + 0.32 \text{ m} = 98.17 \text{ m}$$

Principio de curva vertical

$$PCV = PIV - \frac{LC}{2}$$

$$PCV = (0 + 029.06) - \frac{40}{2} = 0 + 009.06$$

Principio de tangente vertical

$$PTV = PIV + \frac{LC}{2}$$

$$PCV = (0 + 029.06) + \frac{40}{2} = 0 + 049.06$$

Cota PCV y PTV

$$\text{Elevación PCV} = \text{Elevación PIV} - \frac{Lcv}{2} * P1$$

$$\text{Elevación PCV} = 97.85 - \frac{40}{2} * (-0.0675) = 99.200m$$

$$\text{Elevación PTV} = \text{Elevación PIV} + \frac{Lcv}{2} * P1$$

$$\text{Elevación PTV} = 97.85 + \frac{40}{2} * (-0.0026) = 97.798 m$$

Cotas @ 10 m: Se calculan las cotas en la tangente en puntos intermedios, estos inician a partir del PCV hacia el PIV y del PIV al PTV, de la siguiente manera

$$\text{Elevación en Est } 0 + 009.06 = 99.20 m$$

$$\text{Elevación en Estación} = \text{Elevación PCV} + (\text{Estación} - \text{PCV})(-A)$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 010 = 99.20m + ((0 + 010) - (0 + 009.06))(-0.0675) = 99.136 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 020 = 99.20m + ((0 + 020) - (0 + 009.06))(-0.0675) = 98.461 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 029.06 = 99.20m + ((0 + 029.06) - (0 + 009.06))(-0.0675) = 97.85 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 030 = 97.85m + ((0 + 030) - (0 + 029.06))(-0.0026) = 97.848 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 040 = 97.85m + ((0 + 040) - (0 + 029.06))(-0.0026) = 97.821 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 049.06 = 97.85m + ((0 + 049.06) - (0 + 029.06))(-0.0026) = 97.798 m$$

Cotas corregidas

Esta es la ecuación de la corrección de las cotas en función a un factor de corrección de acuerdo a la ordenada media y la longitud de curva vertical, para cada distancia horizontal X.

$$Y = X^2 * K^*$$

Donde:

Y= Cota corregida en cada estación

$$K^* = \text{Factor de corrección} = \frac{OM}{\left(\frac{Lcv}{2}\right)^2} = \frac{0.32}{\left(\frac{40}{2}\right)^2} = 0.0008$$



La constante K^ obtenida no debe aproximarse, puesto que ella está basada en los parámetros de la diferencia de pendientes A y la longitud de curva vertical L_v , que también son constantes. En otras palabras, debe considerarse con toda su fracción decimal.*

Por lo tanto, las correcciones de pendiente, y, para los diversos puntos son:

$$X^2 = (EST - Pcv)^2 * K^* \quad X^2 = (PTV - Est)^2 * K^*$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 010 = ((0 + 010) - (0 + 009.06))^2 * (0.0008) = 0.000707m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 020 = ((0 + 020) - (0 + 009.06))^2 * (0.0008) = 0.095747 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 029.06 = ((0 + 029.06) - (0 + 009.06))^2 * (0.0008) = 0.32 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 030 = ((0 + 049.06) - (0 + 030))^2 * (0.0008) = 0.290627 m$$

$$\text{Elevación en Est } 0 + 040 = ((0 + 049.06) - (0 + 040))^2 * (0.0008) = 0.065667 m$$

Para obtener las cotas de los respectivos puntos sobre la curva, llamadas también cotas rojas, cotas de proyecto, cotas de rasante o cotas de subrasante, se deben **sumar** de las cotas en la tangente, las correcciones de pendiente, ya que se trata de una curva vertical **cóncava**. De darse el caso que la curva sea convexa, estos valores se restan a las cotas de la tangente.

De esta manera, queda calculada la curva vertical, con lo cual se puede elaborar el modelo de cartera, con la información necesaria, tal como se muestra en la siguiente tabla de resultados.

Tabla de resultados: Diseño de rasante, curva vertical cóncava.

Progresiva	Estación	Pendiente %	Cotas en la tangente	Corrección de pendiente (Y)	Cotas rojas (Rasante)
0+009.06	Pcv	-6.75	99.200	0.000000	99.200
0+010.00		-6.75	99.137	0.000707	99.137
0+020.00		-6.75	98.462	0.095747	98.557
0+029.06	PIV	-6.75	97.850	0.320000	98.170
0+030.00		-0.26	97.848	0.290627	98.138
0+040.00		-0.26	97.822	0.065667	97.887
0+049.06	PTV	-0.26	97.798	0.000000	97.798

Reportar:

a. Diseñe la siguiente curva vertical simétrica convexa a partir de los siguientes datos:

- $P1 = +4\%$
- $P2 = -5\%$
- Velocidad de diseño: 40 km/h
- $PIV = 4+650$
- Elevación = 280.60 m

b. Diseñe la siguiente curva vertical simétrica cóncava a partir de los siguientes datos:

- $P1 = 6\%$
- $P2 = -7\%$
- $PIV = 0+250$
- Elevación = 154.20 m
- Distancia de PCV a PIV = 50 m

HOJA DE TRABAJO No. 4

1. Diseñe la siguiente curva vertical a partir de los siguientes datos:

- $P1 = +3\%$
- $P2 = -6\%$
- Velocidad de diseño: 30 km/h
- $PIV = 2+300$
- Elevación = 280.60 m

2. Diseñe la siguiente curva vertical a partir de los siguientes datos:

- $P1 = -12.03\%$
- $P2 = -2.06\%$
- Velocidad de diseño: 40 km/h
- $PIV = 0+528.66$
- Elevación = 280.60 m

PRÁCTICA No. 5

SECCIONES TÍPICAS Y DRENAJES

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Conocer acerca de la importancia de diseñar un correcto sistema de drenaje en una carretera.
- 1.2 Identificar a través de las secciones típicas los componentes de una carretera.
- 1.3 Observar planos típicos de drenajes longitudinales y transversales.

2. Marco Teórico:

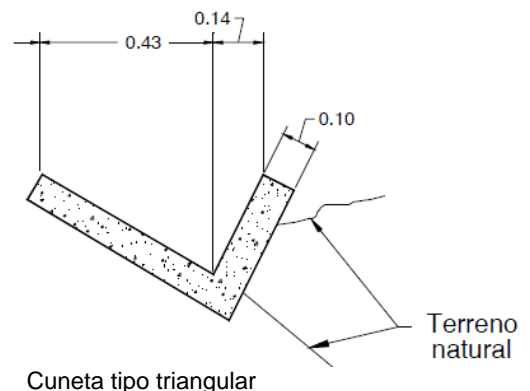
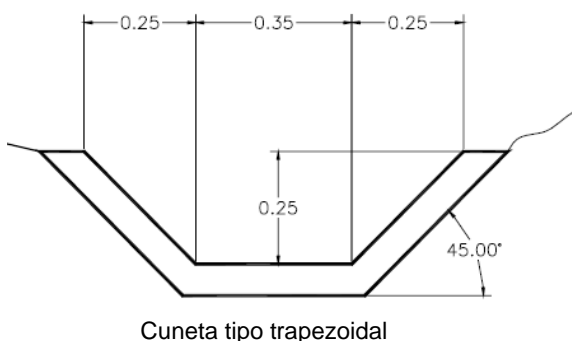
2.1 Drenajes

Son colocados para evitar el deterioro, debido a que al filtrarse agua en el pavimento dañará el material existente en la sub-rasante provocando daños. Las acumulaciones de agua son perjudiciales, la forma adecuada para evitar daños en la carretera es evacuando o conduciendo por medio de drenajes. La vida útil de la carretera depende de los drenajes en un alto porcentaje, estos evitarán derrumbes o deslizamientos, para que su funcionamiento sea eficientemente, deben contar con un mantenimiento constante.

2.2 Cunetas

Son canales abiertos que se calculan por el método de Manning, se colocan paralelamente a uno o ambos lados del camino, sirven para evacuar el agua que cae en la sección de corte en una carretera, en pendientes fuertes se deben proteger del escurrimiento y acción destructiva del agua por medio de disipadores de energía.

Las cunetas pueden tener diferentes formas y dimensiones, a continuación, se presenta un ejemplo de sección típica de cuneta.



El empleo de cunetas y de alcantarillas de tipo carretero en zonas urbanas no sólo es peligroso para el tránsito peatonal, sino que origina numerosos conflictos con las descargas de un flujo concentrado sobre predios y viviendas. En estas zonas, la solución de drenaje que se proyecte, ya sea netamente urbana o mixta, debe asegurar la adecuada disposición de las aguas lluvias, sin generar afectaciones.

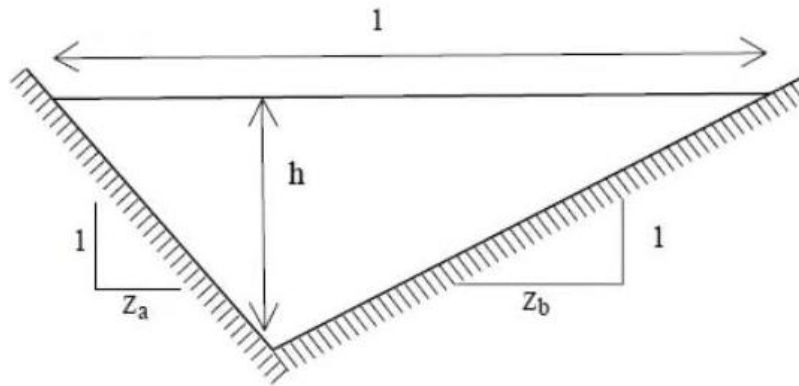


Fig. Ecuaciones para determinar el área y perímetro de una cuneta triangular

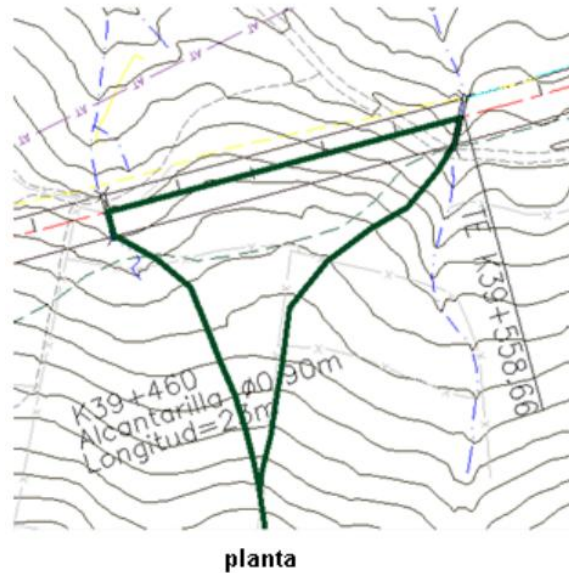
$$\text{Ancho superficial } (l) = (Z_a + Z_b) * h$$

$$\text{Área} = \frac{(Z_a + Z_b) * h^2}{2}$$

$$\text{Perímetro mojado } (P) = \left(\sqrt{1 + Z_a^2} + \sqrt{1 + Z_b^2} \right) * h$$

Ejemplo

Se desea realizar el diseño de las cunetas entre las alcantarillas localizadas en el K39+460 y el K39+560, de una carretera con las características geométricas que se muestran en la siguiente figura. La cuneta del lado derecho recibe el área de toda la calzada (la pendiente de bombeo es en un solo sentido hacia el costado derecho), el área del talud de corte y el área de la ladera, la cual se delimita en la planta, pues no se proyecta zanja de coronación. La pendiente longitudinal de la vía en el tramo es de 11%. Diseñar la cuneta del lado derecho.



Se diseñará la cuneta derecha, asumiendo los siguientes coeficientes de escorrentía

(C): calzada = 0.86, talud de corte = 0.60, ladera= 0.40. La intensidad de diseño estimada a partir de la curva de intensidad-duración-frecuencia característica de la zona es de 172 mm/hora (4.778×10^{-5} m/s), para un período de retorno de 5 años y una duración de 15 minutos.

- Cálculo del caudal de diseño

En primer lugar, se determina el área de drenaje, teniendo presente que la longitud de la cuneta es de 100 m (entre el K39+460 y el K39+560), que el ancho de la calzada es de 11.40 m, que el ancho típico del talud es de 12 m y que el área aferente medida para la ladera es de 0.12 hectáreas.

Las áreas son, entonces:

$$\text{Calzada} = 11.40\text{m} \times 100\text{m} = 1,140 \text{ m}^2 = 0.11 \text{ ha}$$

$$\text{Talud de corte} = 12 \times 100 = 1,200 \text{ m}^2 = 0.12 \text{ ha}$$

$$\text{Ladera} = 0.20 \text{ ha}$$

Por lo tanto, el área total aferente será de:

$$0.11 + 0.12 + 0.20 = 0.43 \text{ ha } (4,300 \text{ m}^2)$$

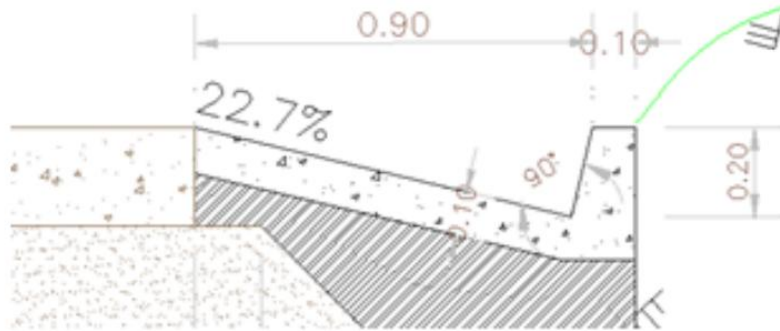
El coeficiente de escorrentía promedio es $C = 0.62$

Aplicando el método racional, el caudal de diseño será:

$$Q = C \times I \times A = 0.62 \times 4.778 \times 10^{-5} \times 3,500 = 0.127 \text{ m}^3/\text{s} = 127 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

- Diseño de la cuneta

Se escoge una cuneta de sección triangular con un ancho total de 0.90 m, repartidos 0.88 m por el costado de la calzada y 0.02 m por el costado de corte, con una profundidad total de 0.20 m, revestida en concreto, con una rugosidad $n = 0.014$ y una pendiente hacia la calzada de 22.7%, admisible desde el punto de vista de seguridad vial (ver figura).



Cuneta seleccionada

Para un caudal de 1277 l/s, una pendiente longitudinal de 11% y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014, las variables que describen el funcionamiento hidráulico de la cuneta toman los siguientes valores, obtenidos al igualar la expresión de Manning con el caudal de diseño:

$$Q = \frac{1}{n} (AR^{2/3}S^{1/2})$$

Siendo:

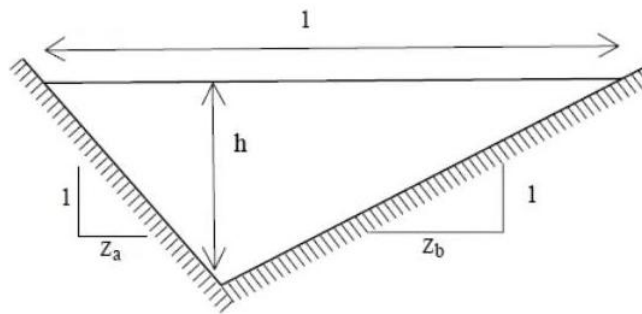
Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

n: Coeficiente de rugosidad de Manning.

A: Área mojada, en metros cuadrados (m^2).

R: Radio hidráulico, en metros (m).

S: Pendiente, en metros por metro (m/m).



Pendiente desde la carretera = $0.20/0.88 = 0.227 = 22.7\%$

Pendiente en el talud = $0.20/0.02 = 10 = 1000\%$

$$Z_a = \left(\frac{1}{10}\right) = 0.1 \quad Z_b = \left(\frac{1}{0.227}\right) = 4.405$$

$$\text{Área} = \frac{(Z_a + Z_b) * h^2}{2} = \frac{(0.1 + 4.405) * (0.20\text{m})^2}{2} = 0.0901\text{m}^2$$

$$\text{Perímetro mojado (P)} = \left(\sqrt{1 + Z_a^2} + \sqrt{1 + Z_b^2}\right) * h = \left(\sqrt{1 + (0.1)^2} + \sqrt{1 + (4.405)^2}\right) * 0.20\text{m} = 1.1044\text{ m}$$

$$Q = \frac{1}{n} \left(AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{0.014} (0.0901\text{m}^2) \left(\frac{0.0901\text{ m}^2}{1.1044\text{ m}}\right)^{\frac{2}{3}} (0.11)^{\frac{1}{2}} = 0.4015\text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal de diseño < Caudal requerido

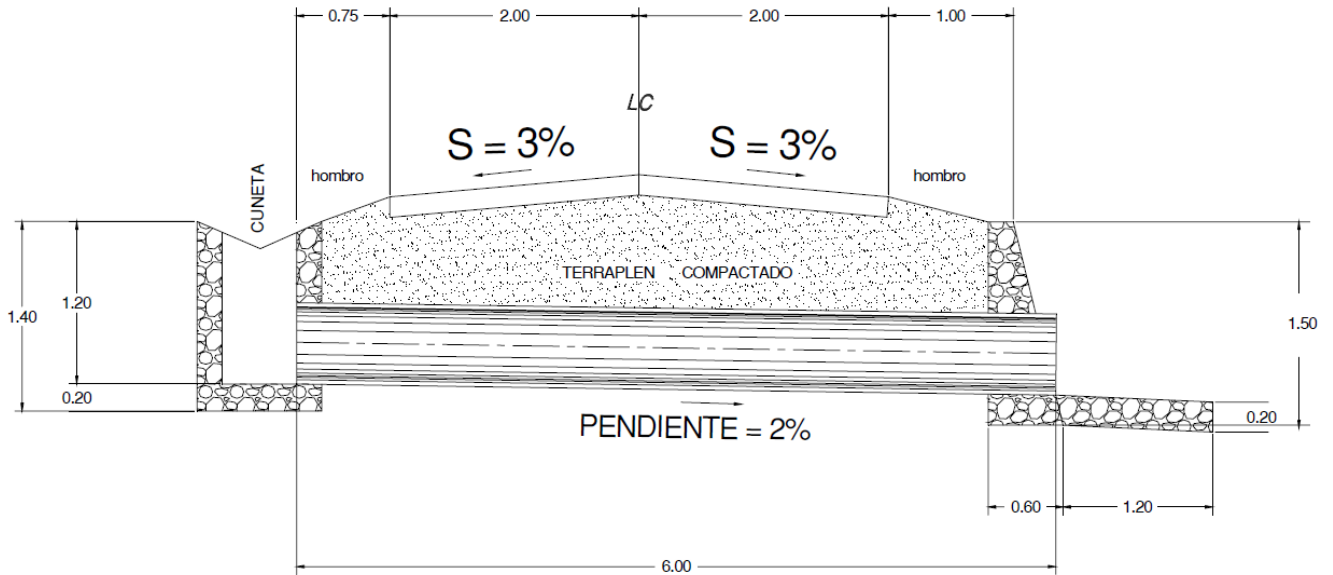
Sección de diseño de la cuneta > Sección necesaria

Las dimensiones de la cuneta propuesta soportan el caudal que deberá conducir.

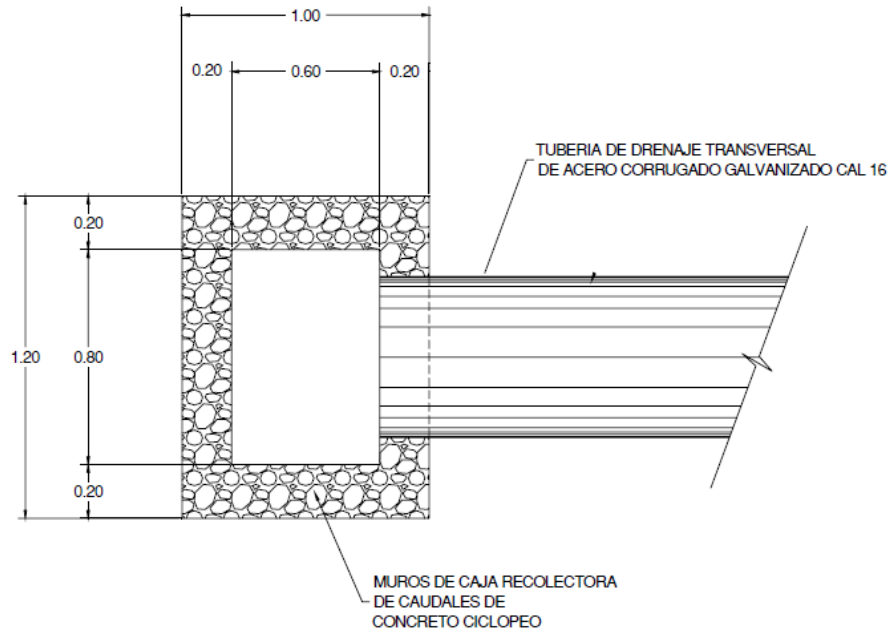
La profundidad del flujo no rebasa la altura máxima de la cuneta (0.20 m), por lo tanto, el diseño elegido se considera adecuado.

Drenajes transversales

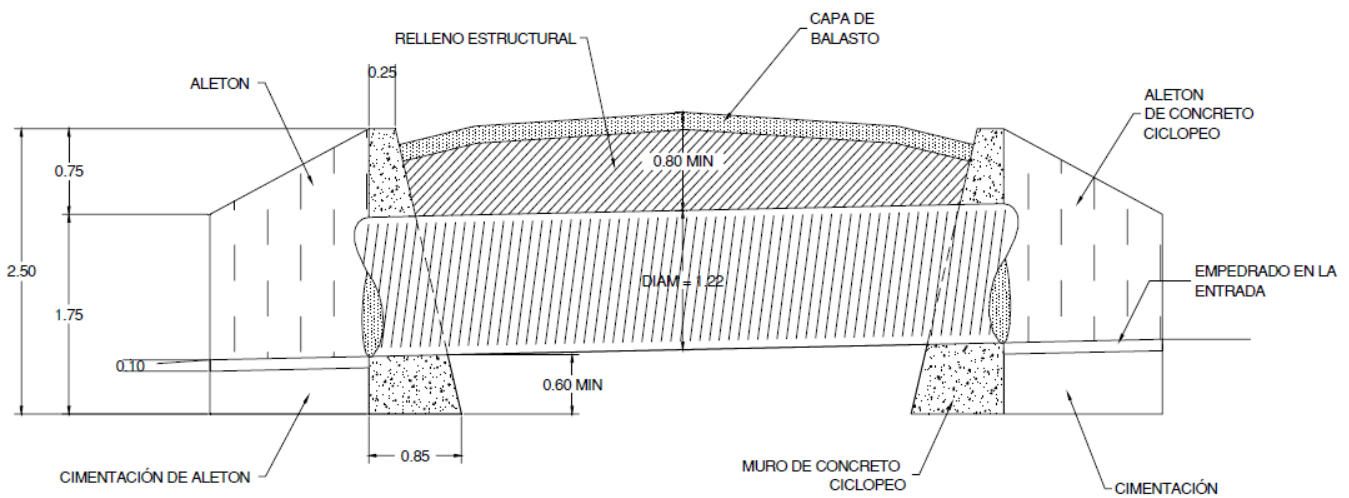
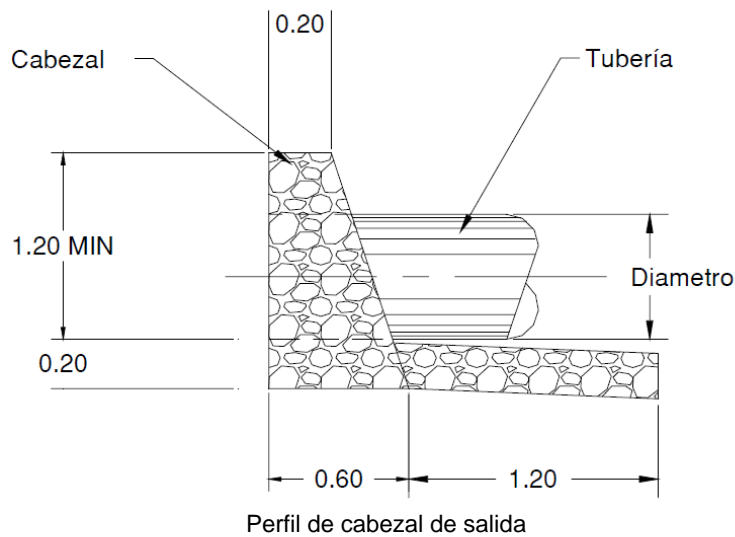
Son las tuberías que se colocan para aliviar el agua que viene en las cunetas o de arroyos. Se encuentran a lo largo de la carretera, son necesarias en un tramo en corte, sirven para conducir agua al otro lado de la carretera. La dimensión de la tubería a colocar se hace con el método de Manning. El drenaje transversal tiene las siguientes partes: caja recolectora de caudal, recibe el agua proveniente de la ladera de la carretera para trasladarla a la tubería, muro cabezal de salida, protege la tubería y el relleno de la carretera para que no se erosione, adicional a estas partes, si la pendiente del terreno en corte, es muy fuerte se colocan disipadores de energía al final de la tubería, servirán para que el agua que desfoga no erosione el suelo y provoque hundimientos.



Sección de drenaje transversal



Planta de caja recolectora de caudales



Sección de drenaje transversal con aletones

Contracunetas

Son canales destinados a evitar que el agua llegue a los taludes y cause deslizamientos o derrumbes en los cortes de la carretera. La contra cuneta deberá colocarse en la parte más alta del talud, a una distancia no menor de 2 metros de la orilla, tomando en cuenta el tipo de suelo existente en el área para evitar derrumbes.

La sección transversal

La sección transversal de una carretera en un punto de esta, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural. Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento u otros, de tal manera que la sección típica adoptada influye en la capacidad de la carretera, en los costos de adquisición de zonas, en la construcción, mejoramiento, rehabilitación,

mantenimiento y en la seguridad de la circulación.

- **Elementos:** Los elementos que integran y definen la sección transversal son: ancho de zona o derecho de vía, calzada o superficie de rodadura, bermas, carriles, cunetas, taludes y elementos complementarios.

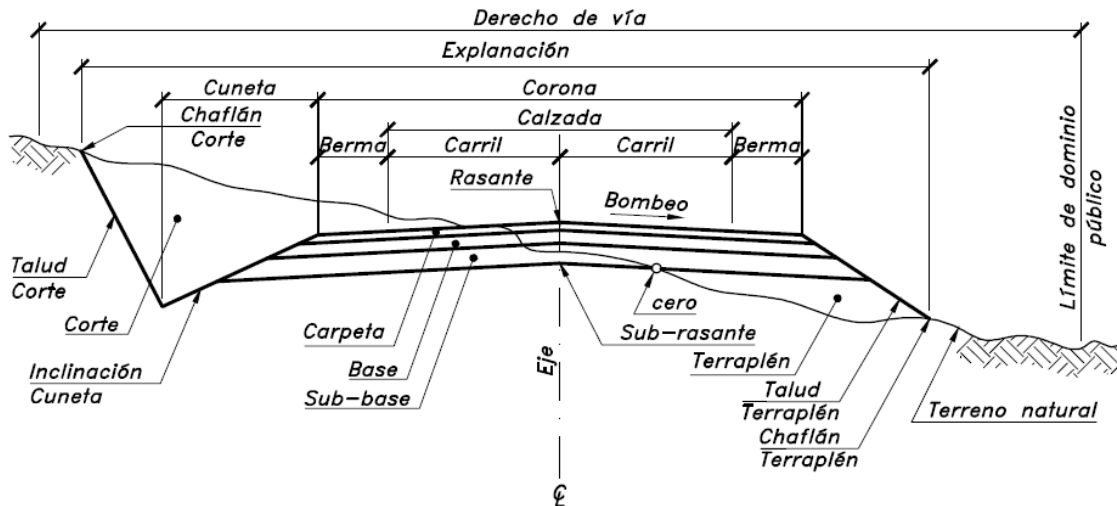


Fig. Capas y elementos que conforman la sección transversal de una carretera

La calzada o superficie de rodadura, es aquella parte de la sección transversal destinada a la circulación de los vehículos, constituida por uno o más carriles para uno o dos sentidos. Cada carril tendrá un ancho suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos. El ancho y el número de carriles de la calzada se determinan con base en un análisis de capacidad y nivel de servicio deseado al final del período de diseño.

Los anchos de carril normalmente utilizados en recta son de 3.00m, 3.30m, 3.50m y 3.65m, respectivamente. En la siguiente figura se suministran los anchos de calzada recomendados en función del tipo de carretera, el tipo de terreno y la velocidad de diseño.

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-
	Ondulado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	7.00	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. Anchos recomendados de calzada en recta

Secciones transversales típicas: Dependiendo del tipo de terreno o topografía, predominará una sección transversal determinada, la cual será típica para ese tramo. En las siguientes figuras se muestran los tipos generales de secciones transversales, en corte (excavación), terraplén (relleno) y mixtas (a media ladera).

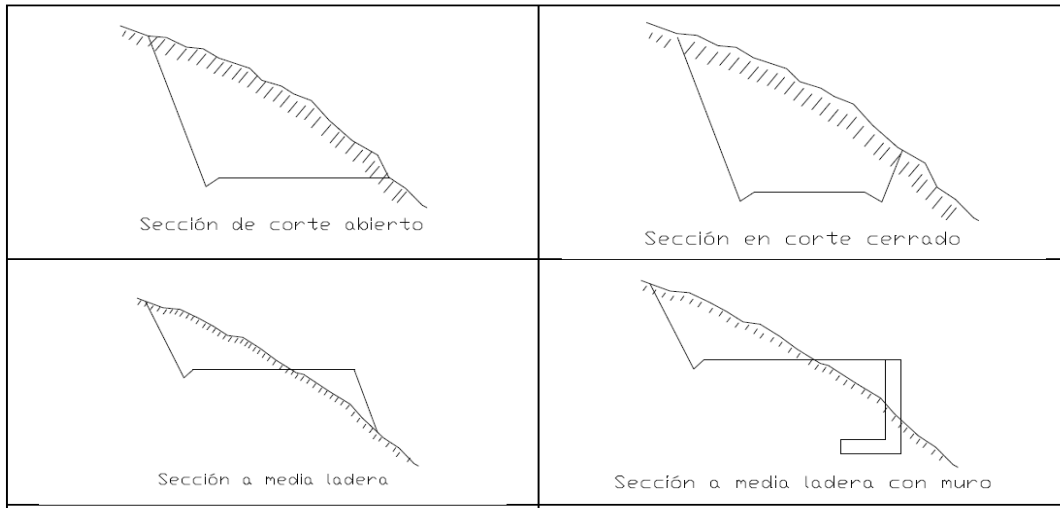


Fig. Secciones típicas de corte

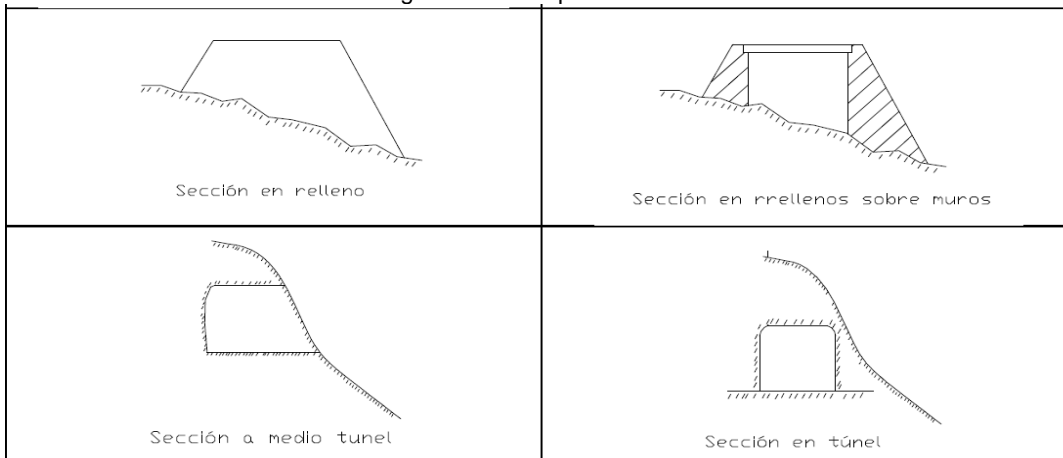


Fig. Secciones típicas de relleno

Reportar: Investigar.

1. Acerca del derecho de vía
2. Áreas y volúmenes de terraplén y corte
3. Transporte del material excavado
4. Diagramas de masas
5. Factor de compensación en el movimiento de tierras.

HOJA DE TRABAJO No. 5

Se desea realizar el diseño de las cunetas entre las alcantarillas localizadas en el PK 1+500 y el PK 1+600, de una carretera. La cuneta del lado derecho recibe el área de toda la calzada (la pendiente de bombeo es en un solo sentido hacia el costado derecho), el área del talud de corte y el área de la ladera, la cual se delimita en la planta, pues no se proyecta zanja de coronación. La pendiente longitudinal de la vía en el tramo es de 10%. Diseñar la cuneta del lado derecho.

Asumir los siguientes coeficientes de escorrentía y precipitación

(C): calzada = 0.80

Talud de corte = 0.65

Ladera= 0.42.

La intensidad de lluvia estimada a partir de la curva de intensidad-duración-frecuencia característica de la zona es de 160 mm/hora.

1. Calcular el caudal que se necesita conducir a través de una cuneta.
2. Proponer las dimensiones de una cuneta triangular (Ancho, alto, pendientes laterales)
3. Calcular el caudal que soporta la cuneta propuesta y compararla con el caudal que se requiere evacuar, para determinar si la propuesta es adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

1. SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. 3ª edición, 127 p.
2. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. (2011). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: MICIVI. 502 p.
3. Dirección general de caminos. Consultado en: diciembre 2024. <https://www.caminos.gob.gt/Descargas/Mapas/Red%20Vial%20DGC.pdf>.
4. Reglamento para el control de pesos y dimensiones de vehículos automotores de carga y sus combinaciones. Acuerdo Gubernativo 379-2010. (2010). Ministerio de comunicaciones, infraestructura y vivienda. Guatemala.
5. Tesis. Gramajo Morales, Rony Gervin. (2014). Evaluación del servicio vial, en tramo de 4 calle y avenida las Américas zona 3, Quetzaltenango, Guatemala.
6. AASHTO. (2004). Una política sobre el diseño geométrico de carreteras y calles. Washington, D.C.
7. James Cárdenas Grisales. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. (2da edición). Ecoe Ediciones. Bogotá
8. Instituto Geográfico Nacional. (2017). Mapa de red vial de Guatemala.
9. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico*.

ANEXO

EJEMPLO 2 PRÁCTICA 1: Calcule el TPD de diseño para un tramo carretero la recolección de datos se resume en la siguiente tabla, la cual se ha contado los vehículos durante 7 días.

DIA	Total
Lunes	12000
Martes	13500
Miércoles	11800
Jueves	12700
Viernes	14200
Sábado	9500
Domingo	8900

Se calcula el tránsito promedio diario semanal

$$TPDS = \frac{12000 + 13500 + 11800 + 12700 + 14200 + 9500 + 8900}{7} = 11800 \text{ veh\u00edculos}$$

Desviación estándar

$$\text{D\u00eda lunes} = (12000 - 11800)^2 = 40000$$

Se hace el mismo procedimiento con los siguientes d\u00edas y se suman.

DIA	TPD	TPDS	(TDi-TPDS)^2
Lunes	12000	11800	40000
martes	13500	11800	2890000
mi\u00e9rcoles	11800	11800	0
jueves	12700	11800	810000
viernes	14200	11800	5760000
s\u00e1bado	9500	11800	5290000
domingo	8900	11800	8410000
		TOTAL	23200000 veh\u00edculos

Aplicar la f\u00f3rmula de desviaci\u00f3n est\u00e1ndar, n = 7 (cantidad de d\u00edas analizados)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n - 1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{23200000}{7 - 1}} = 1966$$

Intervalo de confianza

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{N-n}{N-1}}$$

$$\sigma = \frac{1966}{\sqrt{7}} * \sqrt{\frac{365-7}{365-1}} = 736.93$$

$$A = \text{Intervalo de confianza} = K\sigma$$

En la distribución normal, para un nivel de confiabilidad del 95 % el valor de la constante K es 1,96

$$A = \text{Intervalo de confianza} = 1.96 * 736.93 = 1444 \text{ veh\u00edculos}$$

Tr\u00e1nsito actual

$$T_o = TPDS \pm A$$

$$T_o = 11800 + 1444 = 13244 \text{ veh\u00edculos}$$

$$T_o = 11800 - 1444 = 10356 \text{ veh\u00edculos}$$

Se usar\u00e1 el m\u00e1s cr\u00edtico $T_o = 13244$ veh\u00edculos

Proyecci\u00f3n de tr\u00e1nsito

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

$T_o = 13244$ veh\u00edculos

$n =$ De acuerdo a la tabla, se usar\u00e1 20 a\u00f1os

$i = 2.5 \% = 0.025$

$$T_n = 13244 (1 + 0.025)^{20-1}$$

$$T_n = 21,173 \text{ veh\u00edculos}$$

$$TPD = 21,173 \text{ veh\u00edculos}$$

R// De acuerdo con el TPD calculado a 20 a\u00f1os, con una tasa de crecimiento del 2.5 %, se espera una afluencia de 21,173 veh\u00edculos

EJEMPLO 2 PRÁCTICA 2: Calcular los elementos geométricos de la siguiente curva horizontal:

$$R=250m$$

$$PI= 4+485.25$$

$$\Delta=75^\circ$$

- Como el radio es un dato que se tiene se despeja el grado de curvatura.

$$R = \frac{1145.91}{G^\circ}$$

$$G^\circ = \frac{1145.91}{R} = \frac{1145.91}{250m} = 4.58^\circ$$

- Se calcula la sub tangente y el principio de curva

$$St = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

$$St = (250) * \tan\left(\frac{75^\circ}{2}\right) = 191.83 m$$

$$Pc = 4485.25m - 191.83m = 4293.42m = 4 + 293.42$$

- Se calcula la longitud de curva y el principio de tangente

$$Lc = \frac{20 * \Delta}{G}$$

$$Lc = \frac{(20)(75^\circ)}{4.58^\circ} = 327.51 m$$

$$PT = PC + LC$$

$$PT = 4293.42m + 327.51m = 4620.93m = 4 + 620.93$$

- Por último, se calcula la cuerda máxima y la external

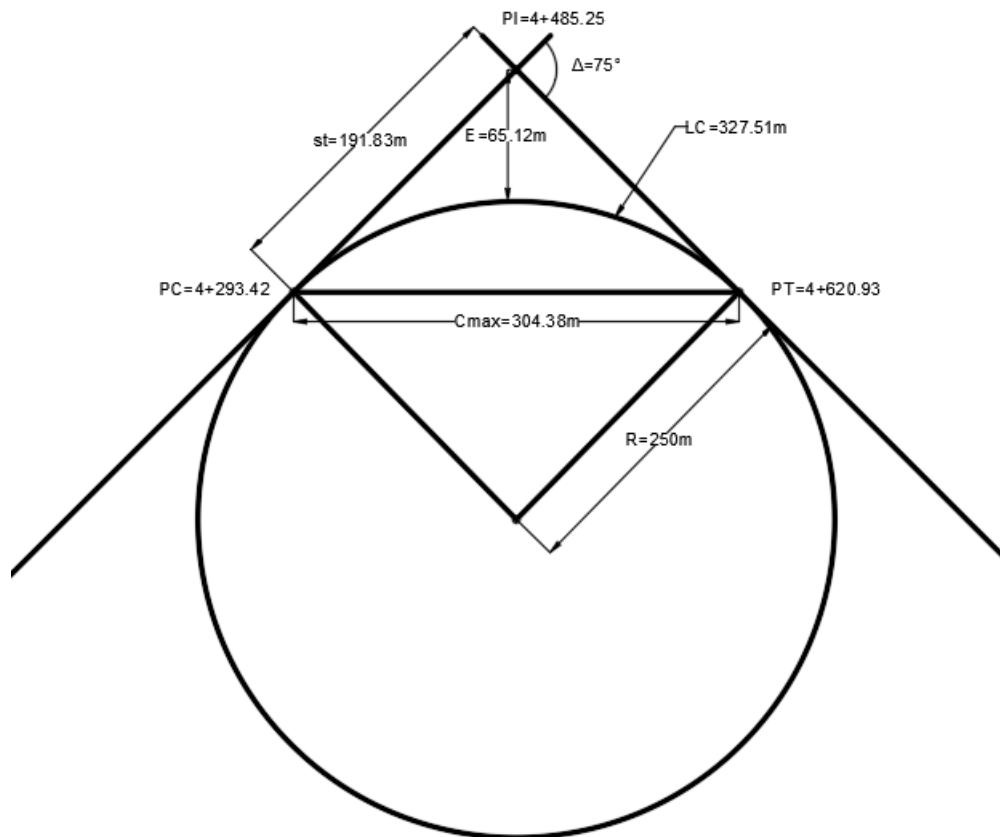
$$C_{max} = 2R * \text{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right) = 47.37 \text{ m}$$

$$C_{max} = (2)(250\text{m}) * \text{sen}\left(\frac{75^\circ}{2}\right) = 304.38 \text{ m}$$

$$E = R * \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - 1 \right)$$

$$E = 250 * \left(\frac{1}{\cos\left(\frac{75^\circ}{2}\right)} - 1 \right) = 65.12 \text{ m}$$

Resultado grafico de los componentes de la curva:

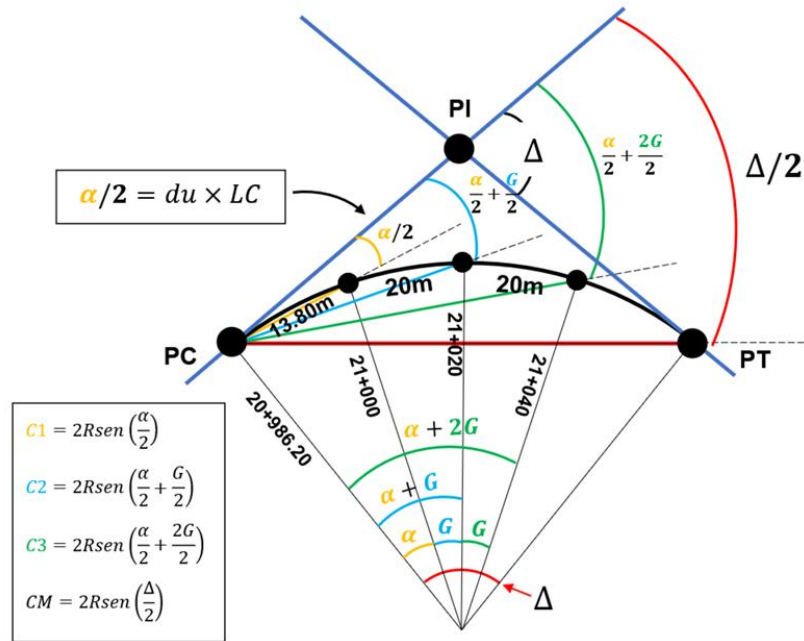


EJEMPLO 2 PRÁCTICA 3: Calcular el trazo de la curva horizontal por medio del método de deflexiones angulares:

$$G=12^\circ$$

$$\Delta=75^\circ$$

$$PC= 20 + 986.20 \text{ (No inicia en múltiplo de 20m)}$$



- El procedimiento que se realiza al tener un dato de PC que no inicia con múltiplo 20m, se procede a tomar el múltiplo inmediato superior siendo este 21+000 y se resta el PC. Dando como resultado el inicio de la curva siendo nuestro LC el resultado y su ángulo α y se toma el PC superior al planteado.

$$LC = (21 + 000) - (20 + 986.20) = 13.80m$$

Como se determina el ángulo α se genera al no tener una LC de 20m, dando así paso a una deflexión angular en la parte superior $\alpha/2$, la cual se debe conocer. Este ángulo lo podemos realizar mediante la ecuación de Deflexión unitaria siendo la siguiente:

$$du = \frac{\alpha/2}{LC} \rightarrow \alpha/2 = du * LC$$

- Se calcula la LC para determinar la longitud de la deflexión

$$LC = \frac{20\Delta}{G} = \frac{20(75^\circ)}{12^\circ} = 125m$$

- Se calcula el PT de la deflexión

$$PT = (20 + 986.20) + (125) = 21 + 111.20$$

- Se calcula el R de la deflexión

$$R = \frac{1145.9156}{G} = \frac{1145.9156}{12} = 95.4930m$$

- Se calcula la deflexión unitaria

$$du = \frac{\Delta/2}{LC} = \frac{75/2}{125} = 0.3 \text{ } ^\circ/m$$

- Se realiza el cálculo de las estaciones

- Est 21+000

$$LC = 1000 - 986.20 = 13.80 \text{ m}$$

$$\alpha/2 = du * LC = 0.3 * 13.80 = 4^\circ 08' 24''$$

$$C1 = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(4^\circ 08' 24'') = 13.7879 \text{ m}$$

- Est 21+020

$$LC = 1020 - 986.20 = 33.80 \text{ m}$$

$$\alpha/2 = du * LC = 0.3 * 33.80 = (\alpha/2 + G/2) = (4^\circ 08' 24'' + 12^\circ/2) = 10^\circ 08' 24'' \text{ (cualquier forma es válida)}$$

$$C2 = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(10^\circ 08' 24'') = 33.6238 \text{ m}$$

- Est 21+040

$$LC = 1040 - 986.20 = 53.80 \text{ m}$$

$$\alpha/2 = du * LC = 0.3 * 53.80 = 16^\circ 08' 24''$$

$$C1 = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(16^\circ 08' 24'') = 53.0913 \text{ m}$$

- Est 21+060

$$LC = 1000 - 986.20 = 73.80 \text{ m}$$

$$\alpha/2 = du * LC = 0.3 * 73.80 = 22^{\circ}08'24''$$

$$C1 = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(22^{\circ}08'24'') = 71.9771 \text{ m}$$

- Est 21+080

$$LC = 1080 - 986.20 = 93.80 \text{ m}$$

$$\alpha/2 = du * LC = 0.3 * 93.80 = 28^{\circ}08'24''$$

$$C1 = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(28^{\circ}08'24'') = 90.0743 \text{ m}$$

- Est 21+100

$$LC = 1100 - 986.20 = 113.80 \text{ m}$$

$$\alpha/2 = du * LC = 0.3 * 113.80 = 34^{\circ}08'24''$$

$$C1 = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(34^{\circ}08'24'') = 107.1846 \text{ m}$$

- Est 21+111.20 (PT)

$$\Delta/2 = 75^{\circ}/2 = 37^{\circ}30'00''$$

$$CM = 2R \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 2(95.4930) \text{sen}(37^{\circ}30'00'') = 116.2649 \text{ m}$$

- Se realiza una tabla Resumen de las Estaciones

Resumen			
	Estación	Deflexión	Cuerda
PC	20+986.20	0	0
	21+000	4°08'24"	13.7879
	21+020	10°08'24"	33.6238
	21+040	16°08'24"	53.0913
	21+060	22°08'24"	71.9771
	21+080	28°08'24"	90.0743
	21+100	34°08'24"	107.1846
PT	21+111.20	27°30'00"	116.2649

EJEMPLO 2 PRÁCTICA 4: Calcular la curva vertical simétrica, utilizando abscisas de 10 m

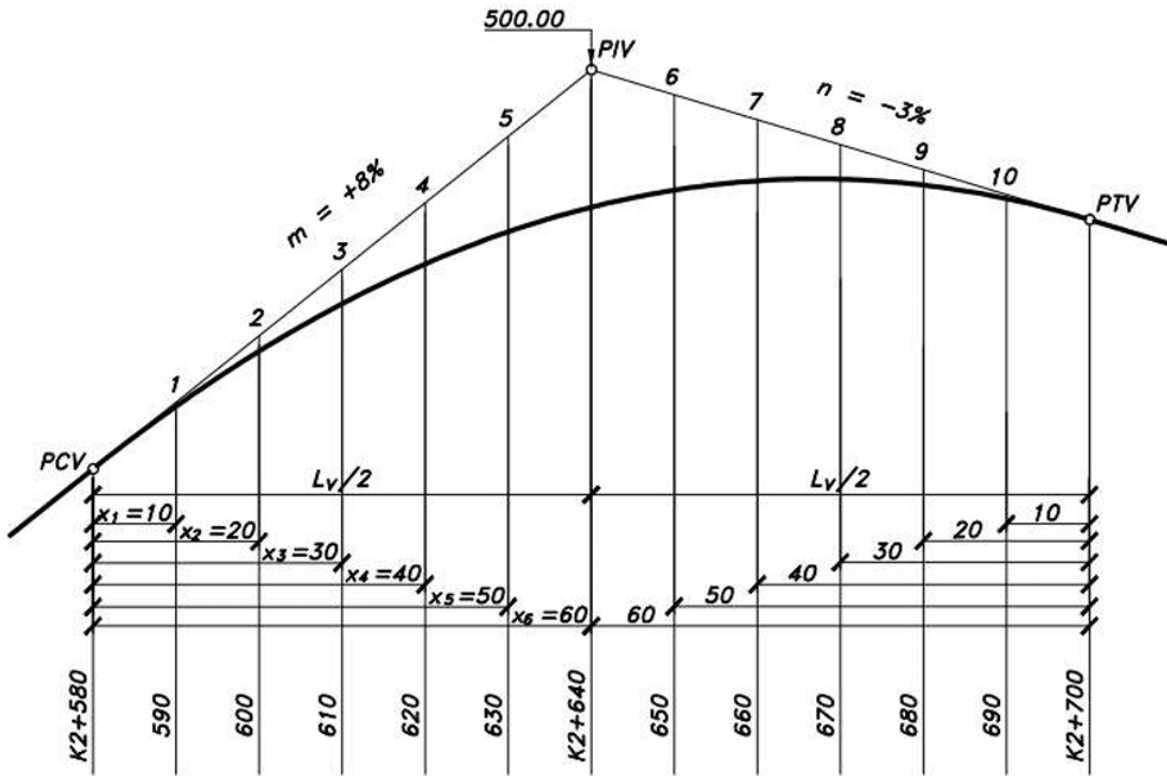
Abscisa del PIV= K2+640

Cota del PIV= 500m

Pendiente de la tangente de entrada= +8%

Pendiente de la tangente de salida= -3%

Longitud de curva vertical= 120 m



- Se calculan las abscisas y cotas de PCV y PTV

✓ $Abcisa\ PCV = Abcisa\ PIV - \frac{L_v}{2} = (K2 + 640) - \left(\frac{120}{2}\right) = K2 + 580$

✓ $Abcisa\ PTV = Abcisa\ PIV + \frac{L_v}{2} = (K2 + 640) + \left(\frac{120}{2}\right) = K2 + 700$

✓ $Cota\ PCV = cota\ PIV - m \left(\frac{L_v}{2}\right) = 500 - \left(0.08 * \frac{120}{2}\right) = 495.200\ m$

✓ $Cota\ PTV = cota\ PIV - m \left(\frac{L_v}{2}\right) = 500 - \left(0.03 * \frac{120}{2}\right) = 498.200\ m$

- Se calculan las cotas en la tangente de puntos intermedios, utilizando como punto de partida la cota del PIV

$$✓ \text{ Cota 1} = \text{cota PIV} - m(50) = 500 - 0.08(50) = 496.000 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 2} = \text{cota PIV} - m(40) = 500 - 0.08(40) = 496.800 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 3} = \text{cota PIV} - m(30) = 500 - 0.08(30) = 497.600 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 4} = \text{cota PIV} - m(20) = 500 - 0.08(20) = 498.400 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 5} = \text{cota PIV} - m(10) = 500 - 0.08(10) = 499.200 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 6} = \text{cota PIV} - m(10) = 500 - 0.03(10) = 499.700 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 7} = \text{cota PIV} - m(20) = 500 - 0.03(20) = 499.400 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 8} = \text{cota PIV} - m(30) = 500 - 0.03(30) = 499.100 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 9} = \text{cota PIV} - m(40) = 500 - 0.03(40) = 498.800 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Cota 10} = \text{cota PIV} - m(50) = 500 - 0.03(50) = 498.500 \text{ m}$$

- Se realizan las correcciones de las pendientes en los puntos intermedios, usando la siguiente ecuación

$$i = m - n = +8\% - (-3\%) = 11\% = 0.11$$

$$Y = \left(\frac{i}{2Lv} \right) x^2 = \left(\frac{0.11}{2 * 120} \right) x^2 = (4.58333 * 10^{-4}) x^2$$

$$✓ \text{ Punto 1} = K2+590, X1= 10m, Y1 = (4.58333 * 10^{-4})(10)^2 = 0.046 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Punto 2} = K2+600, X2= 20m, Y2 = (4.58333 * 10^{-4})(20)^2 = 0.183 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Punto 3} = K2+610, X3= 30m, Y3 = (4.58333 * 10^{-4})(30)^2 = 0.412 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Punto 4} = K2+620, X4= 40m, Y4 = (4.58333 * 10^{-4})(40)^2 = 0.733 \text{ m}$$

$$✓ \text{ Punto 5} = K2+630, X5= 50m, Y5 = (4.58333 * 10^{-4})(50)^2 = 1.146 \text{ m}$$

$$✓ \text{ PIV} = K2+640, X6= 60m, Y6 = (4.58333 * 10^{-4})(60)^2 = 1.650 \text{ m}$$

- Se debe comprobar que la última corrección de la pendiente debe ser igual al valor de la Externa Ev, usando la siguiente ecuación

$$Ev = \frac{Lv * i}{8} = \frac{120 * 0.11}{8} = 1.650 \text{ m}$$

- Se realiza una tabla resumen con los valores de la rasante

Resumen					
Puntos	Abcisas	Pendientes	Cotas en la tangente	Corrección de la pendiente	Cotas rojas
PCV	K2+580	-----	495.200	0.00	495.200
1	K2+590	8%	496.000	-0.046	495.954
2	K2+600		496.800	-0.183	496.617
3	K2+610		497.600	-0.412	497.188
4	K2+620		498.400	-0.733	497.667
5	K2+630		499.200	-1.146	498.054
PIV	K2+640	-----	500.000	-1.650	498.350
6	K2+650	-3%	499.700	-1.146	498.554
7	K2+660		499.400	-0.733	498.667
8	K2+670		499.100	-0.412	498.688
9	K2+680		498.800	-0.183	498.617
10	K2+690		498.500	-0.046	495.954
PTV	K2+700	-----	498.200	0.00	495.200