



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE UNA VIA  
DE COMUNICACIÓN CARRETERA

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO GEOMÁTICO**

PRESENTA  
ANTONIO MAYA ANA CYNTHIA



DIRECTOR DE TESIS: M. en I. REYES PIZANO ADOLFO

MÉXICO, D.F. MARZO 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/25/2014

Señorita  
**ANA CYNTHIA ANTONIO MAYA**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ADOLFO REYES PIZANO que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA GEOMATICA -

**"ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE UNA VÍA DE COMUNICACIÓN CARRETERA"**

- INTRODUCCIÓN**
- I. ANTECEDENTES**
- II. CURVAS HORIZONTALES**
- III. CÁLCULO DE LOS ELEMENTOS PARA TRAZO DE UNA CURVA HORIZONTAL**
- IV. REPLANTEO DE CURVAS**
- V. CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 24 de Marzo de 2014  
**EL PRESIDENTE DEL COMITÉ**

**M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ**

JLTS/MTH

## *Agradecimientos*

*En primer lugar quiero agradecer a Dios por haberme dado la inteligencia para poder realizar este trabajo.*

*A mi madre, por ser el pilar más importante, quien me ha acompañado durante todo mi trayecto brindándome su mano amiga, dándome alientos durante esas noches en vela y lo más importante por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, por su amor y apoyo, que sin su ayuda no hubiera sido posible recibir la mejor herencia, mi carrera profesional, no olvides que mis triunfos son gracias a ustedes. A mi hermano por todo el amor y apoyo incondicional que me ha brindado en los buenos y en los malos momentos.*

*Gracias a los ingenieros e ingenieras que a lo largo de mi carrera estuvieron presentes, aquellos que fueron referentes para este trabajo, que me han apoyado y aconsejado. Especialmente a M. en I. Adolfo Reyes Pizano, porque sin él, este trabajo no pudo haberse llevado a cabo, M. en I. José Luis Trigos Suarez, y a Ing. Josué Garduño Chávez, a ustedes gracias por haberme impulsado a terminar este proyecto.*

*Ellos saben lo que es recibir de unos maestros tanto cariño y apoyo para una persona que apenas está empezando como yo. Gracias a todos ellos.*

*Gracias a los amigos de verdad, esos que están ahí a pesar de las adversidades, mi respeto y agradecimiento a una persona talentosa por su amistad incondicional, Alan Sánchez Colín por todo el apoyo que me brindaste a lo largo de todos estos años.*

*Para tí, Adrián Hernández Santiago, es un privilegio trabajar contigo por ser tan minucioso, paciente, por la entrega, complicidad, y todos los consejos, quedaran grabados siempre en mi memoria*

*Todas aquellas personas que indirectamente me ayudaron a llevar a cabo este proyecto, a ellas, mi agradecimiento.*

*Sin olvidar a todos mis compañeros, ya saben quiénes son.*

Ana Antonio  
Marzo 2014

## Índice

1. Antecedentes .....	2
1.1 Bosquejo Histórico.....	2
1.2 Vestigios de carreteras.....	4
1.3 La historia de los caminos en México .....	7
1.3.1 Comunicación de la gran Tenochtitlán con otros pueblos.....	7
1.3.2 Primeras veredas.....	8
1.3.3 Llega el caballo .....	8
1.3.4 La rueda .....	8
1.3.5 Caminos virreinales .....	8
1.3.6 De los caminos de herradura a los de fierro .....	8
1.3.7 De las brechas a las carreteras.....	9
1.3.8 Llegada del automóvil.....	9
1.3.9 Venustiano Carranza .....	9
1.3.10 Los impuestos a la gasolina .....	9
1.3.11 Presupuestos millonarios.....	10
1.3.12 Embotellamientos carreteros.....	10
1.3.13 Se inauguran más carreteras .....	10
1.3.14 La carretera panamericana .....	10
1.3.15 Carreras de autos de punta a punta.....	10
1.3.16 Las primeras autopistas.....	11
1.4 Autopistas prodigiosas .....	12
2. Curvas Horizontales.....	22
2.1 Curva Circular Simple.....	22
2.2 Curva Compuesta.....	27
2.3 Curvas de transición .....	35
3. Cálculo de los elementos para trazo de una curva horizontal.....	37
4. Replanteo de curvas .....	55
4.1 Curvas circulares conocidas las dos tangentes y el radio .....	55
4.2 Tangente secundaria en el punto medio de la curva .....	56
4.3 Tangente secundaria asimétrica .....	57
4.4 Cuerdas principales y secundarias .....	58

4.5 Cuando es inaccesible el punto de intersección de las dos alineaciones .....	58
5. Conclusiones.....	60
6. Bibliografía .....	63

## Índice de imágenes

Imagen 1. 1 Vía Apia .....	4
Imagen 1. 2 Camino de la Plata.....	4
Imagen 1. 3 Carretera Nakaseno.....	5
Imagen 1. 4 Yuen Tsuen Ancient Trail.....	5
Imagen 1. 5 Carretera de Khmer .....	6
Imagen 1. 6 Old Great North Road .....	6
Imagen 1. 7 Persa Royal Road.....	7
Imagen 1. 8 Autopista Elevada .....	12
Imagen 1. 9 Carretera del Atlántico .....	13
Imagen 1. 10 Carretera del Atlántico .....	14
Imagen 1. 11 Camino de la muerte.....	14
Imagen 1. 12 Camino de la muerte.....	15
Imagen 1. 13 Carretera de Guoliang.....	16
Imagen 1. 14 Carretera de Guoliang.....	16
Imagen 1. 15 Autopista de James Dalton .....	17
Imagen 1. 16 Autopista de James Dalton .....	17
Imagen 1. 17 Viaducto de Millau.....	18
Imagen 1. 18 Corredor de nieve hacia el Monte Tateyama.....	19
Imagen 1. 19 Carretera Sierra Río de Rastro.....	19
Imagen 1. 20 Autopista 17 .....	20
Imagen 1. 21 Camino a Fairy Meadows.....	21
Imagen 1. 22 Camino a Fairy Meadows.....	21
Imagen 3. 1 Distribuidor vial.....	54
Imagen 3. 2 Distribuidor vial .....	54

## **.Índice de figuras**

Figura 2. 1 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva simple.....	23
Figura 2. 2 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva simple.....	25
Figura 2. 3 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva simple.....	25
Figura 2. 4 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva simple.....	26
Figura 2. 5 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta.....	28
Figura 2. 6 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta.....	29
Figura 2. 7 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta.....	30
Figura 2. 8 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta.....	31
Figura 2. 9 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta.....	32
Figura 2. 10 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta.....	33
Figura 2. 11 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva de transición ....	36
Figura 3. 1 Representación grafica de una curva horizontal,deflexión por 20 m.....	37
Figura 3. 2 Representación grafica de curva horizontal .....	38
Figura 4. 1 Representación gráfica de unión o enlace de alineaciones rectas con arcos de círculo .....	55
Figura 4. 2 Representación gráfica de una tangente secundaria en el punto medio de la curva ...	56
Figura 4. 3 Representación de una tangente secundaria asimétrica .....	57
Figura 4. 4 Representación gráfica cuando es inaccesible el punto de intersección de dos alineaciones .....	59

## **Introducción**

La siguiente tesis pretende servir como un fascículo para aquellos profesionistas relacionados con el alineamiento horizontal en el que se manejan los distintos tipos de curvas.

El documento consta de 4 capítulos, en el primero se habla de los antecedentes en México, es decir, de las primeras curvas pasando por el caballo, la llegada del automóvil hasta las autopistas actuales.

En el segundo capítulo se ve los distintos tipos de curvas horizontales, así como los elementos geométricos de cada una, su interrelación y su representación gráfica.

Dentro del tercer capítulo encontramos diversos ejemplos que se pueden manifestar en la práctica profesional cuando se quiera trazar una curva horizontal en sus diferentes modalidades y dependiendo de los datos con los que se cuente en el sitio, se suscitan diferentes métodos de cálculo de los elementos para su trazo.

Por último se ven algunas aplicaciones, es decir, casos que se presentan cotidianamente cuando se trabaja en campo.



## 1. Antecedentes

### 1.1 Bosquejo Histórico

Una señal de que la civilización avanzaba fueron las carreteras. Los que empezaron a construirlas fueron los mesopotámicos por el año 3500 a.C., posteriormente los chinos, desarrollando un sistema de carreteras en el siglo XI a.C, construyeron la Ruta de la Seda, que fue la más larga del mundo en 2,000 años. En Sudamérica estuvieron los incas con la construcción de una avanzada red de caminos, sin considerarse como carreteras, ya que en esa época no se conocía la rueda. Estas supuestas carreteras pasaban por todos los Andes abarcando galerías cortas en rocas sólidas. Estrabón, quien fue un geógrafo griego del siglo I, reconoció un sistema de carreteras que iniciaba en la antigua Babilonia; el historiador griego Heródoto del siglo V a.C. escribió sobre las vías construidas en Egipto que se usaban para transportar materiales para erigir las pirámides y otros monumentos hechos por los faraones. Todavía existen algunas de las carreteras que fueron construidas por los romanos. La construcción de la vía Apia se inició aproximadamente en el 312 a. C., la vía Faminia en el 220 a.C. En la cúspide del Imperio Romano existía un sistema de carreteras de 80,000 km, firme en 29 calzadas que partían de la ciudad de Roma, incluyendo las más importantes provincias conquistadas, entre ellas Gran Bretaña. Estas calzadas tenían un espesor de 90 a 120 cm, compuestas por tres capas de piedras argamasadas cada vez más finas, con bloques de piedras encajadas en la parte superior. No había distinción de personas para usarlas, estipulada por la ley romana, el mantenimiento de estas dependía de los habitantes que la transitaban. De esta manera se conservaban las calzadas en buen estado siempre y cuando hubiera una autoridad para supervisarlos; al desaparecer esta autoridad durante la edad Media, del siglo X al XV, el sistema de calzadas empezó a deteriorarse. Los franceses instituyeron un sistema para fortalecer el trabajo local en las carreteras a mediados del siglo XVII, esto ayudó a la construcción de aproximadamente 24,000 km de carreteras.

El Parlamento instituyó un sistema de conceder franquicias a compañías privadas para el mantenimiento de estas, cobrando un peaje o cuota para el uso de ellas. Se fueron perfeccionando los métodos así como las técnicas de construcción. El ingeniero de caminos francés Pierre-Marie-Jérôme Trésaguet además de los ingenieros británicos, Thomas Telford y John Loudon McAdam fueron los responsables durante las primeras décadas del siglo XIX. El sistema de Telford consistía en cavar una zanja e instalar cimientos de roca pesada. Los cuales se levantaban en el centro para que la carretera se inclinara hacia los bordes para permitir el desagüe. La parte superior consistía en una capa de 15 cm de piedra quebrada compacta.

El de McAdam mantenía que la tierra bien drenada soportaría cualquier carga, este método de construcción consistía que la capa final de piedra quebrada se colocará directamente sobre un cimiento de tierra que se elevaba del terreno circundante para asegurarse de que el cimiento desaguaba. Este sistema llamado macadamización, fue adoptado en casi todas las partes, principalmente en Europa. No obstante las carreteras no pudieron soportar los camiones pesados que se utilizaron en la Primera Guerra Mundial. A consecuencia de esto se adoptó el sistema de Telford, el cual consistía en una mejor distribución de la carga de la carretera sobre el subsuelo subyacente. La decadencia de las carreteras ocurrió en el periodo de expansión del ferrocarril en la última mitad del siglo XIX. Fue ahí donde se introduce el ladrillo y el asfalto como pavimento para las calles de las ciudades.

La ingeniería romana era principalmente civil en cuanto al diseño y construcción de obras como: acueductos, carreteras, puentes y edificios públicos.

Los ingenieros romanos fueron perfeccionando la construcción de carreteras, por un lado creían que la comunicación era importante para conservar un imperio en expansión, y por otro, suponían que una carretera bien construida duraría más tiempo con un mantenimiento nulo. Es sabido que las carreteras romanas duraban hasta cien años antes de necesitar mantenimiento. En fechas recientes la construcción de carreteras se ha vuelto al principio “alto costo inicial - poco mantenimiento”.

El triunfo más conocido de la antigüedad fue la vía Apia, que se inició en 312 a.C., fue la carretera más importante recubierta de Europa. Al inicio la carretera media 260 km, su recorrido era desde Roma hasta Capua, pero en 244 a.C., fue extendida hasta Brindisi, siendo está una obra muy prestigiada, en cuyos lados del camino a la salida de Capua había monumentos funerarios de los aristócratas.

En esas fechas en Roma ya existía el tráfico pesado. Julio César en una ocasión ordenó que no pasaran vehículos de cuatro ruedas por las calles de la ciudad, con la creencia de solución los problemas de tránsito. En sus mejores tiempos del Imperio Romano, el sistema de carreteras tenía aproximadamente 29 000 Km., entre el Valle del Éufrates y la Gran Bretaña.



*Imagen 1. 1 Vía Apia consultada marzo 2014 <sup>1</sup>*

## 1.2 Vestigios de carreteras

Algunas carreteras antiguas que todavía se mantienen son:

- Camino Real de Tierra también conocida como Camino de la Plata, inicialmente se usó como una ruta comercial hace 300 años. Desde mediados de los siglos XV al XIX, originalmente tenía una extensión de 2,600 km desde la Ciudad de México a Texas. Actualmente tiene 646 kilómetros del tramo del camino que discurre por territorio estadounidense, en octubre de 2000 fue declarada National Historic Trail.



*Imagen 1. 2 Camino de la Plata consultada noviembre 2013 en la página de la UNESCO<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> <http://www.fadal.us/!Vf0/V04-Via%20Appia/Texto/07ViaAppiaAntigua.htm>

<sup>2</sup> <http://whc.unesco.org/en/list/1351/>

- La Carretera Nakasendo ubicada en Japón. Se trata de una carretera que data del siglo XVII, la cual une a Kyoto con Edo (la actual Tokio). La carretera recorre 500 kilómetros, surca montañas y llanuras.



*Imagen 1. 3 Carretera Nakaseno consultada noviembre 2013<sup>3</sup>*

- La Yuen Tsuen Ancient Trail ubicada en Hong Kong, China, es una carretera en la cual durante siglos, gente viajaba a lo largo de este sendero escarpado. Hoy en día, los extremos de la pista se insertan a la expansión urbana.



*Imagen 1. 4 Yuen Tsuen Ancient Trail consultado noviembre 2013<sup>4</sup>*

---

<sup>3</sup> <http://locuraviajes.com/blog/la-antigua-ruta-de-nakasendo-en-japon/>

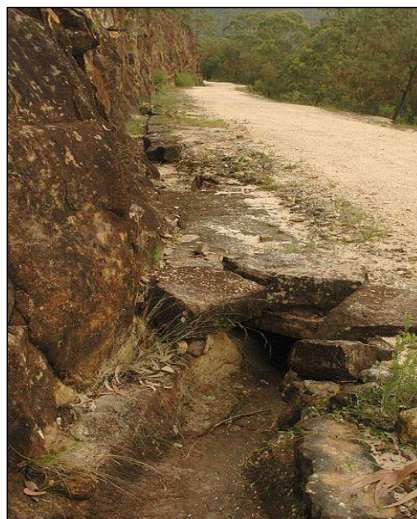
<sup>4</sup> [http://www.hkwalkers.net/eng/trail\\_list/country\\_trail/Yuen\\_Tsuen\\_Ancient\\_Trail/introduction.html](http://www.hkwalkers.net/eng/trail_list/country_trail/Yuen_Tsuen_Ancient_Trail/introduction.html)

- La Carretera de Khmer ubicada entre Camboya y Tailandia es una antigua carretera de 225 kilómetros que discurría entre Angkor, Camboya sin olvidar a Phimai, Tailandia. Fue un sendero sagrado para el imperio camboyano. Ahora en su mayoría está cubierta por la selva.



*Imagen 1. 5 Carretera de Khmer consultada noviembre 2013<sup>5</sup>*

- La Old Great North Road se encuentra en Australia, es famosa por ser una obra maestra de la ingeniería del siglo XIX, fue construida por convictos. Se inició en la ciudad de Sidney, se concluyó en Newcastle. Algunas secciones siguen antiguas pistas aborígenes.



*Imagen 1. 6 Old Great North Road consultada noviembre 2013<sup>6</sup>*

---

<sup>5</sup> <http://www.ultra.com.mx/radio/index.php/>

<sup>6</sup> <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Culvert.jpg>

- La Persa Royal Road, ubicada entre Turquía e Irán, es una carretera creada por Darío el Grande de Persia, la cual une el Mediterráneo y el Golfo Pérsico, va desde Sardes en el noroeste de Turquía a través de Mesopotamia a Susa en Irán. Famosos como: el Rey Midas, el profeta Daniel, la reina Ester, el historiador Herodoto, de igual manera el conquistador Alejandro Magno viajaron por ella.

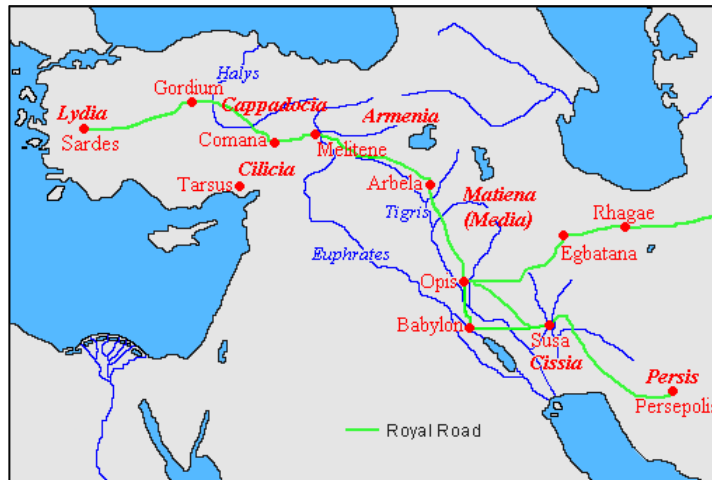


Imagen 1. 7 Persa Royal Road consultada noviembre 2013<sup>7</sup>

### 1.3 La historia de los caminos en México

Es la historia del esfuerzo del hombre que aplicando su ingenio sobre la naturaleza, cambio el entorno de la tierra de acuerdo a sus necesidades.

#### 1.3.1 Comunicación de la gran Tenochtitlán con otros pueblos

En poco tiempo, se iba consolidando el suelo y reduciendo las aguas del lago, así se fue formando la enorme isla para caminar largas distancias más allá del Imperio Azteca. Ya que todos los sistemas de transporte son buenos, el hombre busca la forma más cómoda para moverse empleando su ingenio e imaginación.

<sup>7</sup> [http://www.iranchamber.com/history/achaemenids/royal\\_road.php](http://www.iranchamber.com/history/achaemenids/royal_road.php)

### 1.3.2 Primeras veredas

Los primeros caminos fueron de tipo peatonal para que las tribus caminaran en busca de alimento, al volverse estos grupos sedentarios los caminos se utilizaban, para el comercio, la religión además de la conquista. Por las calzadas, las cuales eran hermosas asimismo anchas, construidas de tierra dura como enladrillado, transitaban miles de paseantes, ya que Tenochtitlán fue una ciudad muy poblada ,pero no se conocía otro tipo de transporte, solo la espalda de los indios.

### 1.3.3 Llega el caballo

En el año de 1519 Hernán Cortés trajo dieciséis caballos también algunas mulas, además de su tripulación y artillería. La introducción de estos, para el transporte de mercancías, impulsó el trazo de nuevos caminos.

### 1.3.4 La rueda

Al inventar la rueda, aparecieron las carretas jaladas por personas o bestias por lo que se acondicionaron los caminos para que el tránsito fuera más rápido.

### 1.3.5 Caminos virreinales

Para que las ruedas no se incrustaran en el terreno, se tuvieron que revestir los caminos de piedra machacada o bien empedrados. En el año de 1867 los únicos caminos existentes en México se originaban en su mayoría, en el trazo prehispánico y cuando mucho en el camino real de los virreyes.

### 1.3.6 De los caminos de herradura a los de fierro

En el Porfiriato se construyeron más de 19 mil kilómetros de carreteras, siendo los únicos trazados los de Oaxaca, Tehuacán, Puerto Ángel y el de Tula, Ciudad Victoria. La construcción de las vías férreas servía únicamente para la exportación de los productos mineros, agrícolas, de igual forma ganaderos, que producía el país, llevándolos al vecino país del norte. En 1898 con la S.C.O.P se hizo el primer intento de controlar las concesiones ferrocarrileras así como de enfocar su atención a los caminos. Fue cuando se dicta una ley encargando a los estados la reparación y conservación de los caminos, algunos tramos de carreteras modernas son trazos de las antiguas rutas que se recorrían a pie.

### 1.3.7 De las brechas a las carreteras

Las antiguas brechas, labradas por nuestros antepasados indígenas, fueron reemplazadas por caminos reales, hasta llegar a las modernas carreteras de asfalto. Para entender el avance que ha tenido México, en el año de 1850 el viaje de Veracruz a México tomaba tres días y algo más. Por esas fechas Don Guillermo Prieto en su cátedra de jurisprudencia decía que los agentes más importantes del camino son: la moneda, el crédito además de la facilidad de las comunicaciones.

### 1.3.8 Llegada del automóvil

La “Agencia de Ingenieros Basave, Robles Gil y Zozaya” trajo a México el primer automóvil en enero de 1895, sin embargo solo era para lucirse. En 1903, los primeros automóviles llegaron a la Ciudad de México, totalizando un parque vehicular de 136, creciendo hasta los 800 en 3 años. El Presidente Porfirio Díaz creó el primer Reglamento de Tránsito en el país, donde se permitía una velocidad de 10 km/h en calles estrechas o muy transitadas, y hasta 40 km/h en las demás. Se creó un impuesto para los propietarios de vehículos que fue abolido en 1911 con la victoria de Francisco I. Madero sobre Díaz.

### 1.3.9 Venustiano Carranza

El 25 de Diciembre de 1917, promulga una ley para comunicaciones y obras públicas, la cual obligaba la construcción de los caminos carreteros, de igual manera la inspección de los privados. El 2 de Noviembre de 1924, se inauguró la calzada que une la Ciudad de México con el poblado de San Ángel, hoy Av. de los Insurgentes.

### 1.3.10 Los impuestos a la gasolina

El 30 de Noviembre de 1924, el Presidente Plutarco Elías Calles fue considerado como el constructor del “México Moderno”, a él se le debe la ley 30 = 03 = 25, que consistía en fijar un impuesto de tres centavos por litro de gasolina para la construcción de nuevos caminos, así se creó la nueva Comisión de Caminos, integrada por los Ingenieros: León Salinas, Guillermo Beltrán y Puga así como Pascual Luna Parra.



### 1.3.11 Presupuestos millonarios

Con un presupuesto de un millón de pesos mensuales se inicia la tarea de construir en un corto plazo de las carreteras México–Puebla y México–Pachuca.

### 1.3.12 Embotellamientos carreteros

En Septiembre de 1926, el Presidente Calles inaugura la Carretera México–Puebla, encabezando la caravana, produciendo en nuestro país, el primer embotellamiento a consecuencia de la colosal avalancha de 2000 automóviles que se lanzaron a la carretera para estrenarla.

### 1.3.13 Se inauguran más carreteras

En Marzo de 1927, se inaugura la Carretera México – Pachuca. Se continúa con la México–Acapulco y la México–Guadalajara, la primera inaugurada el 20 de Noviembre de 1927 y la segunda en Junio de 1929. Entre 1925 y 1945 se amplió la Calzada de Tlalpan, la Calzada Zaragoza asimismo se prolongó al poniente el Paseo de la Reforma conectándose con la carretera a Toluca, sobre la Av. Insurgentes Norte se pone en servicio la primera estructura vial importante “El Puente de Nonoalco”.

### 1.3.14 La carretera panamericana

Entre 1925 y 1945, se inicia la construcción de la Carretera Panamericana, de Toluca a la población de Atlacomulco, México y, el 5 de mayo de 1950 siendo Presidente Miguel Alemán Valdés, inaugura la carretera de Ciudad Juárez a Ocotlán, Chiapas con un trazo de 3446 kilómetros siendo está en una de las más largas del mundo.

### 1.3.15 Carreras de autos de punta a punta

El 21 de mayo de 1950 el Presidente Miguel Alemán Valdés frente a más de 70 automóviles dio el banderazo de salida a una de las carreras más importantes del mundo (La Carrera Panamericana) y sus palabras fueron estas “tengo el honor de declarar inaugurada la Carretera Panamericana Cristóbal Colón, es el esfuerzo y el trabajo de un pueblo a favor del progreso, la solidaridad de América en la paz, la Patria así como la Justicia para que los países sigan cumpliendo su misión histórica”

### 1.3.16 Las primeras autopistas

El 14 de Octubre de 1949 se creó la Compañía Constructora del Sur S.A de C.V., empresa subsidiada por Nacional Financiera, su objetivo era crear carreteras de altas especificaciones. En 1952 se inauguró las primeras autopistas del país, la México–Cuernavaca con una longitud de 62 km. y la Amacúza–Iguala con 51 km., la concesión se otorgó inicialmente a la empresa que las construyó, en 1956 la empresa cambio de nombre a Caminos Federales de Ingresos S.A. de C.V.

Para 1970 se consideraba que todos los estados estaban unidos a través de la red federal o red troncal

Para 1971 se inicia el programa de Caminos de Mano de Obra

En 1988 el presidente Carlos Salinas de Gortari fomento la construcción de las autopistas por toda la República Mexicana.

En 1989 ya existían 2,500 km de autopistas mediante la inversión privada.

Para el año 2000 había un total 333, 247 km de carreteras.

En 2003 se cuenta con una red carretera de aproximadamente 325,000 km de caminos de todos los tipos.

En 2011 la longitud de la red nacional de carreteras en México es de 370,000 km, incluyendo las carreteras de todos tipos.

En el 2013 la longitud de la red nacional de carreteras en México es de 423,000km, incluyendo federales, estatales de cuota y libres, los caminos locales así como rurales.

## 1.4 Autopistas prodigiosas

A continuación se presentan algunas carreteras adaptadas al lugar dependiendo la topografía y geología en donde con ayuda del ingenio humano se ha logrado hacer caminos retando a la naturaleza

### ► Autopista Elevada (Florida Keys)

Esta autopista elevada se construyó con el fin de conectar más de 1,700 islas del sur de Estados Unidos, conocidas como los Cayos de Florida, a través de más de 42 puentes.

Fue construida en 1938 sobre las vías del tren, que tres años antes, fueron destrozadas por un huracán. Tiene una longitud total de 205 kilómetros, la mayoría de ellos por encima del mar, el trayecto se nos hará corto, disfrutando del precioso paisaje, así como de fantásticas vistas del amanecer y el atardecer, excepto durante las vacaciones en las que hay muchísimo tráfico.

Aunque no es la única carretera elevada sobre el océano, como por ejemplo, la que recorre la base naval de Norfolk (Virginia, EUA) o el puente que conecta China con Hong Kong, sí es la más grande.



*Imagen 1. 8 Autopista Elevada consultada noviembre 2013<sup>8</sup>*

---

<sup>8</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Autopista\\_elevada\\_Cayos\\_Florida.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Autopista_elevada_Cayos_Florida.jpg)

### ► **Puente de Storseisundet, Carretera del Atlántico (Noruega)**

La carretera del Atlántico, inaugurado el 7 de julio de 1989, fue elegida por los noruegos la construcción más importante del siglo de su país, asimismo el diario británico The Guardian la destaca, como uno de los mejores viajes en carretera.

La carretera une las islas de Molde y Kristiansund, en sus poco más de ocho kilómetros, se pasa por ocho puentes que se retuercen por encima del mar, entre los que se encuentra el Puente de Storseisundet, el más largo de ellos con una distancia de 260 metros y 23 m. de altura, que permiten a las embarcaciones llegar al mar, sea cual sea el nivel del mismo.



*Imagen 1. 9 Carretera del Atlántico consultada noviembre 2013<sup>9</sup>*

La zona está caracterizada por malas condiciones atmosféricas, de hecho, durante la construcción de la Atlanterhavsveien, como se dice en Noruego, la cual duró aproximadamente 6 años, se registraron 12 tormentas con categoría de huracán que dificultaron la finalización del proyecto.

Cuando hay buen tiempo, es frecuente el avistamiento de ballenas y focas en la zona. Es recomendable conducir con precaución, en especial en la época de pesca, ya que muchas personas practican esta afición sobre los puentes de la carretera.

---

<sup>9</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Puente\\_de\\_Storseisundet\\_Noruega.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Puente_de_Storseisundet_Noruega.jpg)



*Imagen 1. 10 Carretera del Atlántico consultada noviembre 2013<sup>10</sup>*

#### ► **Camino de la Muerte (Bolivia)**

Esta carretera fue construida en 1930 por prisioneros paraguayos, para conectar la capital, La Paz, con el norte de la selva amazónica hasta la población de Coroico, en la región de Los Yungas



*Imagen 1. 11 Camino de la muerte consultada noviembre 2013<sup>11</sup>*

---

<sup>10</sup> <http://www.diariomotor.com/2010/08/04/la-carretera-del-atlantico-en-noruega/>

<sup>11</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Carretera\\_Muerte\\_Bolivia.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Carretera_Muerte_Bolivia.jpg)

Durante 80 km. tendremos unas vistas impresionantes, pero no todo el mundo es capaz de disfrutarla, conduciendo en un solo carril, que a veces se estrecha hasta tener un ancho de 3 m., normalmente embarrado, con falta de visibilidad por la niebla y la lluvia, en el que hay un precipicio con una caída de más de 1,000 metros.

De hecho, el Banco Interamericano del Desarrollo, la nombró en 1995 la carretera más peligrosa del mundo, lo cual queda ampliamente avalado por las 300 personas que fallecen cada año en la misma.



*Imagen 1. 12 Camino de la muerte consultada noviembre 2013<sup>12</sup>*

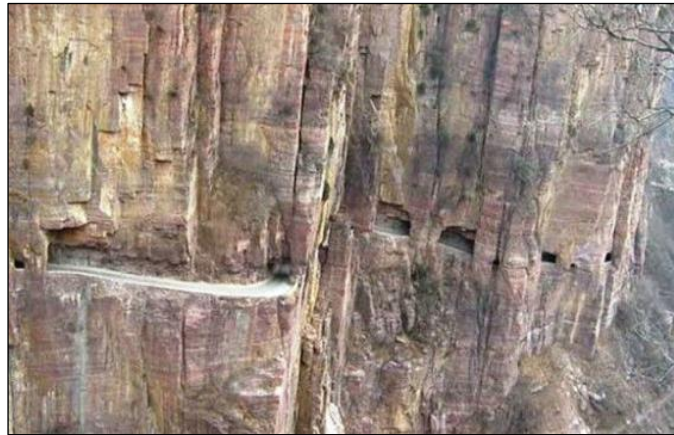
Afortunadamente, en la actualidad hay una carretera en mejores condiciones que cubre esta ruta, por lo que el Camino de la Muerte, se ha quedado para los intrépidos que quieren vivir la experiencia. Una opción muy elegida es subir en bicicleta.

---

<sup>12</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Estrechez\\_Carretera\\_Muerte\\_Bolivia.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Estrechez_Carretera_Muerte_Bolivia.jpg)

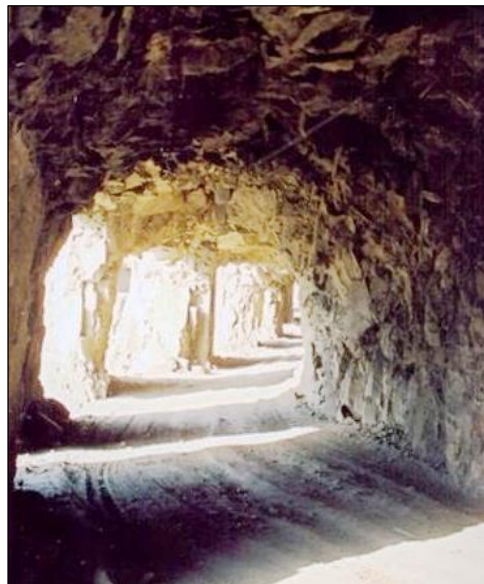
### ► Túnel de la Carretera de Guoliang (China)

En las montañas de Taihang, en China, encontramos otra de las carreteras más peligrosas del mundo, sin lugar a dudas, tiene su mérito, ya que fue construida por 13 campesinos de la zona, en el año 1972, al día de hoy, sigue siendo la mejor ruta para llegar a la aldea de Guoliang, porque la otra opción es alcanzar la cima del Monte Tianti, a través de una escalera excavada en la roca.



*Imagen 1. 13 Carretera de Guoliang consultada noviembre 2013<sup>13</sup>*

Aquellos aldeanos tardaron 5 años en construir los 1.200 metros que tiene el túnel, con 4 metros de altura. Se sabe que la ruta ya existía por fuera de la montaña, pero éstos decidieron hacerla desde el interior, por motivos de seguridad, aunque no se preocuparon de medir las ventanas que dejan ver el exterior, siendo cada una de un tamaño diferente.



*Imagen 1. 14 Carretera de Guoliang consultada noviembre 2013<sup>14</sup>*

<sup>13</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Tunel\\_Guoliang\\_China.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Tunel_Guoliang_China.jpg)

### ► Autopista de James Dalton (Alaska)

Esta autopista se construyó en 1974, paralelamente al oleoducto Trans-Alaska, que trascurre hasta los campos petrolíferos de Prudhoe Bay, cerca del Ártico.



*Imagen 1. 15 Autopista de James Dalton consultada noviembre 2013<sup>15</sup>*

Es una de las carreteras más aisladas de Estados Unidos, con sólo tres poblaciones en sus 666 km de longitud, las cuales suman un total de 60 habitantes que residen aquí todo el año.



*Imagen 1. 16 Autopista de James Dalton consultada noviembre 2013<sup>16</sup>*

Tiene una difícil conducción debido a que normalmente siempre está helada, e incluso durante el invierno permanece cerrada. Todos los que vayan a tomar esta ruta, llevar el tanque bien lleno, ya que sólo hay gasolineras en la milla 56.

---

<sup>14</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/tunel\\_guoliang\\_china-2.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/tunel_guoliang_china-2.jpg)

<sup>15</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/James\\_Dalton\\_Alaska\\_Estados\\_Unidos.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/James_Dalton_Alaska_Estados_Unidos.jpg)

<sup>16</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Accidente\\_autopista\\_James\\_Dalton.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Accidente_autopista_James_Dalton.jpg)



### ► **Viaducto de Millau, Carretera de París a Barcelona**

Es el puente más alto del mundo con 343 m., tiene casi 2,5 km. de largo, situado en la carretera que une París con Barcelona (A-75).

Fue ideado por el reconocido arquitecto británico Norman Foster, con el fin de descongestionar de tráfico la pintoresca población de Millau, pero respetando el entorno natural del valle del río Tarn. Su construcción duró 3 años y finalizó en diciembre de 2004.

Rodar sobre el puente impresiona muchísimo, no sólo por sus sorprendentes vistas, sino por la envergadura y la belleza de la obra arquitectónica por la que pasamos.



*Imagen 1. 17 Viaducto de Millau consultada noviembre 2013<sup>17</sup>*

### ► **Corredor de nieve hacia el Monte Tateyama (Japón)**

Tateyama Kurobe es una carretera que se abre paso entre los más de 20 m. de espesor de nieve que cae entre las ciudades de Omachi y Toyama, durante el invierno, en el Parque Nacional de Chubu Sangaku.

La pista se inauguró en 1971, recorre 37 km. flanqueados por paredes de hielo de más de 20 m de altura. El acceso en coche particular está prohibido, por lo que tendremos que subir en autobús o en funicular, la ruta sólo está abierta entre los meses de noviembre a mayo, por otro lado se ha convertido en una de las mayores atracciones turísticas del país.

---

<sup>17</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Viaducto\\_Millau.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Viaducto_Millau.jpg)

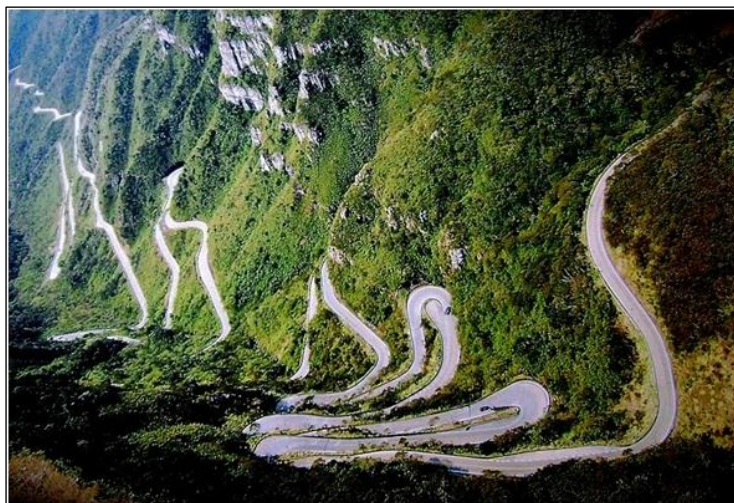


*Imagen 1. 18 Corredor de nieve hacia el Monte Tateyama consultada noviembre 2013<sup>18</sup>*

► **Carretera Sierra Río de Rastro, Sta. Catarina (Brasil)**

Este trayecto de la Sierra do Rastro, desciende desde 1,460 m. hasta el nivel del mar, con un desnivel medio de 9,2%, lo que junto con el extraordinario entorno, nos enseña un asombroso paisaje. La carretera une las poblaciones de Lauro Müller y Bom Jardim da Serra, durante el trayecto, disfrutaremos pasando al lado de lagos además de cascadas, pero hay que tener cuidado con las curvas, ya que en tan sólo 8 kilómetros, tiene más de 250 curvas, así que mejor no despistarse.

Es una de esas carreteras, junto con la de los Trolls, Trollstigen, en Noruega, que los amantes de las motos no deben perderse.



*Imagen 1. 19 Carretera Sierra Río de Rastro consultada noviembre 2013<sup>19</sup>*

---

<sup>18</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Corredor\\_nieve\\_Tateyama\\_Japon1.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Corredor_nieve_Tateyama_Japon1.jpg)

<sup>19</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Carretera\\_Sierra\\_do\\_Rastro\\_Brasil.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Carretera_Sierra_do_Rastro_Brasil.jpg)

### ► Autopista 17, Carolina del Sur (Estados Unidos)

Esta autopista se puede decir que es lo más parecido a una montaña rusa.

La US17, o también llamada la autopista del océano, fue construida en 1926, recorre una longitud de 1,913 km. Aunque algunas partes del recorrido tienen más carriles, en la imagen 1.19 se puede ver el tramo que se encuentra en el estado de Beaufort, en Carolina de Sur, Estados Unidos, ofrece a sus visitantes unas vistas de maravillosos paisajes.

Es muy importante conducir despacio porque es un tramo muy peligroso, a pesar de que están haciendo obras para ensanchar la carretera.



*Imagen 1. 20 Autopista 17 consultada noviembre 2013<sup>20</sup>*

- **Camino a Fairy Meadows (Pakistán)**

Para terminar, tenemos un camino que fue hecho por los lugareños que tenían la necesidad de conectar sus pueblos. Esta carretera es la que lleva hasta uno de los picos más altos del mundo, el Nanga Parbat, está repleta de grava además de curvas a lo largo de sus 10 km.

---

<sup>20</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/autopista\\_17\\_beaufort\\_Carolina\\_Sur\\_EEUU.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/autopista_17_beaufort_Carolina_Sur_EEUU.jpg)



*Imagen 1. 21 Camino a Fairy Meadows consultada noviembre 2013<sup>21</sup>*

Hay que tener mucho cuidado debido a la estrechez de la calzada, es más en el último segmento, resulta imposible circular en cualquier tipo de vehículo, sólo en bicicleta o a pie.



*Imagen 1. 22 Camino a Fairy Meadows consultada noviembre 2013<sup>22</sup>*

---

<sup>21</sup> <http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/The-Way-to-Fairy-Meadow-1.jpg>

<sup>22</sup> [http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Camino\\_Fairy\\_Meadows.jpg](http://www.estaentumundo.com/wpcontent/imagenes/Camino_Fairy_Meadows.jpg)

Dentro de la ejecución de un proyecto geométrico de una vía se tienen que considerar varios estudios, entre ellos se encuentra el estudio topográfico que consiste en: localización de carretera, clima, trazo de las líneas definitivas, eje, tangentes, alineamiento horizontal, referencias de trazo, identificar que actividades son de campo o de gabinete, derecho de vía de un trazo ya sea para un camino, carretera, pista.

## 2. Curvas Horizontales

La curva es un arco de circunferencia que se utiliza para unir dos tangentes de una vía, es decir, cuando se va a cambiar de dirección, la cual proporciona la circulación de vehículos. Existen dos tipos: curvas horizontales y verticales, en este trabajo solo hablaremos de las horizontales.

Dentro de las curvas horizontales las que se utilizan son: simples y compuestas con o sin curva de transición

### 2.1 Curva Circular Simple

Está compuesta por un tramo de una sola circunferencia. A continuación se mencionan los elementos que deben definirse para trazarla en el terreno

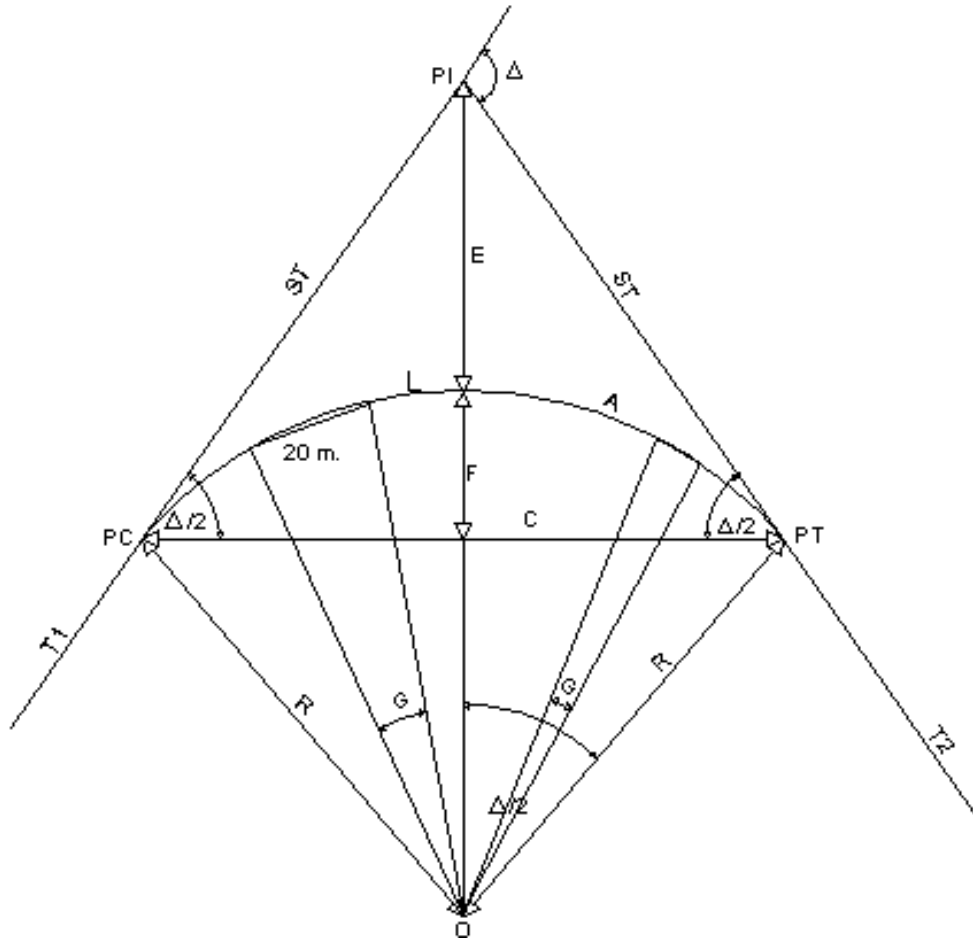


Figura 2. 1

Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva circular simple

PI: punto de inflexión

PC: principia curva

PT: principia tangente

} Puntos de tangencia

Δ: deflexión

G: grado de curvatura (ángulo que subtiende una cuerda de 20m)

ST: subtangente

T: tangente

O: centro de la curva

A: arco

L: longitud de curva

C: cuerda mayor

E: exsecante o externa

F: flecha

R: radio

G': subgrado

Para calcular los elementos de la curva se necesitan conocer los siguientes datos:

- Deflexión  $\Delta$ : En el proyecto en planta del eje de vía se mide con el uso de un transportador, posteriormente cuando se trace en el terreno se medirá con tránsito para conocer el valor real entre las tangentes marcadas y así recalcular los elementos de la curva.
- Cuerda C: La más usada es la de 20m siempre y cuando el grado de curvatura (G) no exceda los  $10^\circ$ , porque en ese valor el radio se excede 100m y el arco es perceptiblemente igual a la cuerda; para G entre  $10^\circ$  y  $20^\circ$  se usan cuerda de 10 m mientras que en valores entre  $20^\circ$  y  $40^\circ$  se utiliza una de 5 m.
- Radio R: Se debe buscar un valor del radio que sea lo mayor posible para no tener curvas forzadas siempre adaptándose a la configuración del terreno para evitar terracerías costosas.  
Elegido el radio se adopta como el definitivo el G cerrado más cercano y que sea número par para facilitar los cálculos

Una vez que tengamos los datos anteriores, los siguientes elementos de la curva los calcularemos mediante las siguientes expresiones matemáticas, obtenidas de la figura 2.2

$$\frac{C}{2} = R \operatorname{sen}\left(\frac{G}{2}\right)$$

despejando tenemos

$$R = \frac{C}{2 \operatorname{sen}\left(\frac{G}{2}\right)}$$

por lo tanto

$$R = \frac{C/2}{\operatorname{sen}(G/2)}$$

Otra opción es

$$R = 10 \operatorname{csc} \frac{G}{2}$$

Cuando tenemos que

$$C=20$$

entonces

$$R = \frac{10}{\operatorname{sen}(G/2)}$$

Del triángulo, figura 2.3, podremos deducir la expresión matemática

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

por lo tanto

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

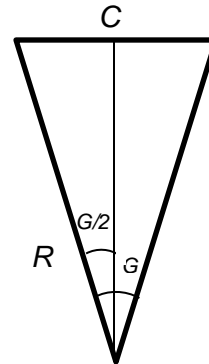


Figura 2. 2 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva circular simple

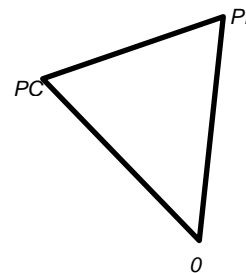


Figura 2. 3 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva circular simple



El Número de cuerdas se obtiene de la siguiente

$$\text{Número de cuerdas} = \frac{\Delta}{G} + \text{residuo}$$

recordando que:

$$\text{residuo} = G'$$

Para la subcuerda con ayuda de la figura 2.4, utilizaremos la siguiente expresión matemática

$$SC = 2R \operatorname{sen} \left( \frac{G'}{2} \right)$$

para  $R > 100$  mts tenemos que

$$LC = \frac{\Delta}{2} (20 \text{ mts})$$

otra forma es

$$LC = \text{núm de cuerdas} + SC$$

para  $R < 100$  mts utilizaremos la siguiente

$$LC = \frac{\Delta}{G} (\text{arco})$$

Para calcular el valor de la flecha

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

Ahora obtendremos la expresión matemática de la externa

$$\frac{R + E}{R} = \sec \left( \frac{\Delta}{2} \right)$$

reagrupando términos tenemos

$$R + E = R \sec \left( \frac{\Delta}{2} \right)$$

despejando la externa

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

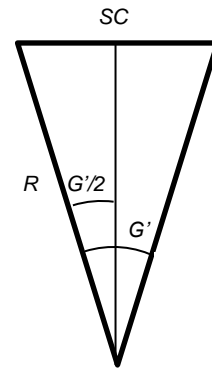


Figura 2. 4 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva circular simple

simplificando términos resulta

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

## 2.2 Curva Compuesta

Se componen de varios tramos de curvas simples, con radios diferentes, dependiendo de los requerimientos del terreno o de las estructuras, como las de pasos a desnivel.

Cada tramo se obtiene como una curva simple, por geometría y triangulación podemos saber las distancias así como los elementos de las tangentes principales e intermedias y los necesarios para trazarlas.

Existen dos tipos de curvas compuestas:

- Curvas compuestas de arcos con ángulos de desviación en el mismo sentido, mejor conocidas como curvas compuestas

Tienen los centros de las curvas componentes en un solo lado del eje de la vía, generalmente se usan para amoldar la vía a las sinuosidades naturales del terreno con el propósito de reducir la terracería.

- Curvas compuestas de arcos con ángulos de desviación en diferentes sentidos, mejor conocidas como curvas espirales

Tienen los centros de las curvas componentes en uno y otro lado del eje, usualmente son utilizadas en lugares donde transitan los vehículos a baja velocidad, ya que con las sobreelevaciones en los lados contrarios de la vía se tuercen las terracerías, sin olvidar las sacudidas molestas que sufren los pasajeros.

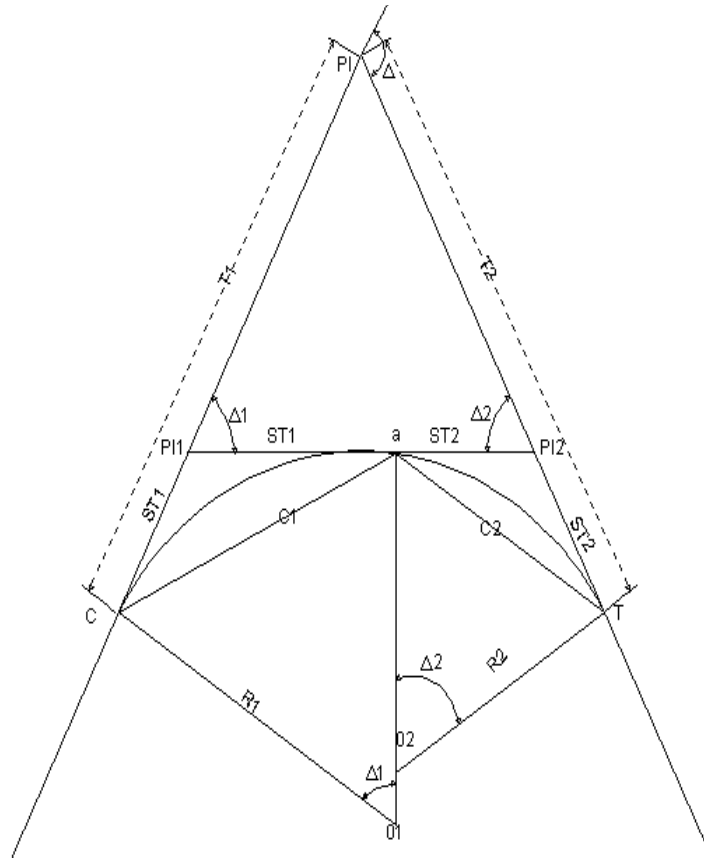


Figura 2. 5  
 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta

$P_{1,2,\dots}$ : puntos de inflexión

C: comienza curva

T: termina curva

$\Delta_{1,2,\dots}$ : deflexiones

$ST_{1,2,\dots}$ : subtangente

$T_{1,2,\dots}$ : tangentes

$O_{1,2,\dots}$ : centros de las curvas

a: punto de tangencia entre las dos curvas

$C_{1,2,\dots}$ : cuerdas mayores

$R_{1,2,\dots}$ : radios

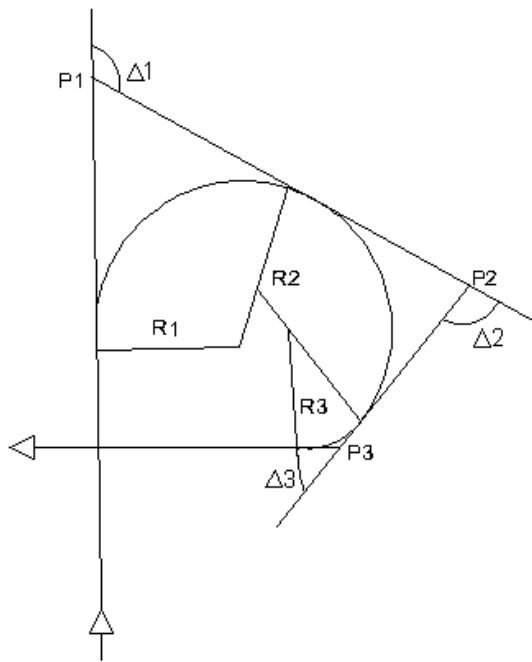


Figura 2. 6

Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta

$P_{1,2,3,\dots}$ : puntos de inflexión

$\Delta_{1,2,3,\dots}$ : deflexiones

$R_{1,2,3,\dots}$ : radios de curvatura

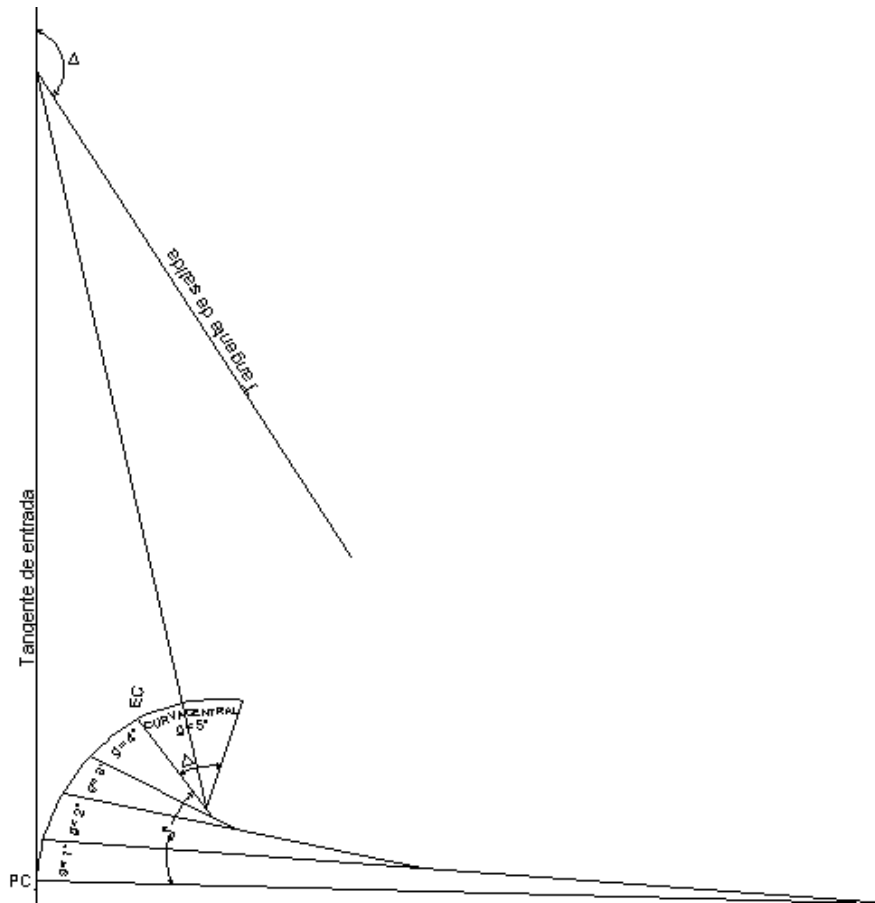


Figura 2. 7  
 Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta

PC: principia curva

EC: empieza circular

$\Delta$ : deflexión de la circular

g: grado de curvatura

d: deflexiones

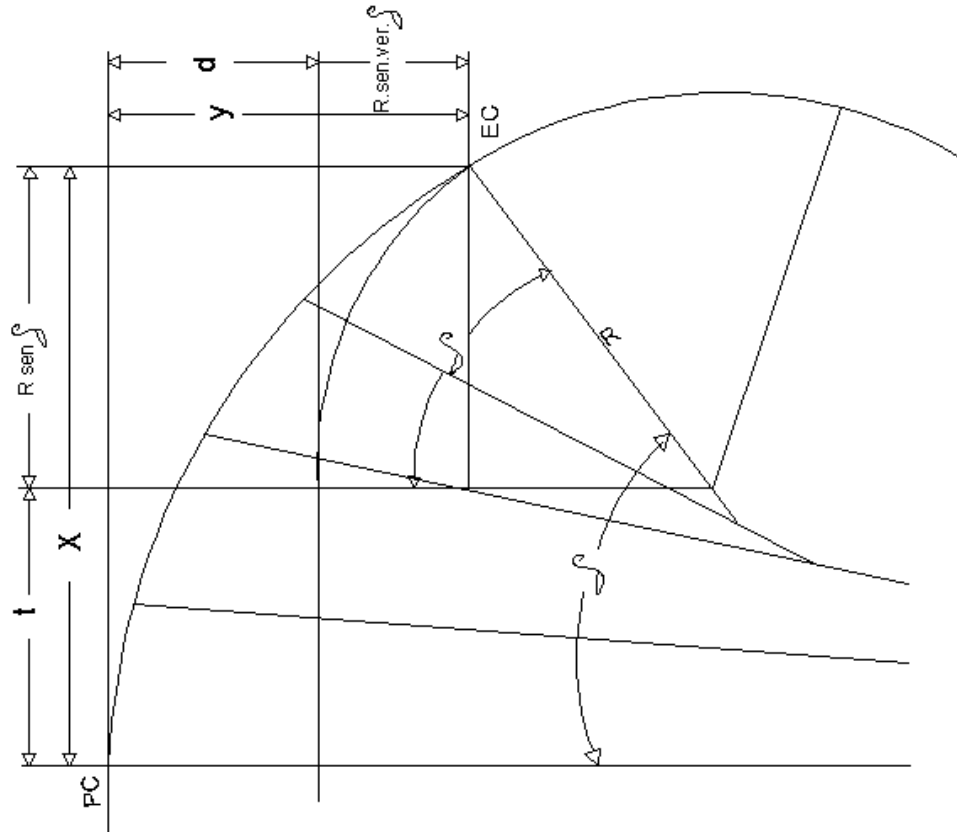


Figura 2. 8

Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta

PC: punto de comienzo

EC: empieza circular

$\delta$ : deflexiones

R: radio

t: coordenada "x" del centro de la curva circular

d: coordenada "y" del centro de la curva circular

X: coordenada del PC

y: coordenada del PC

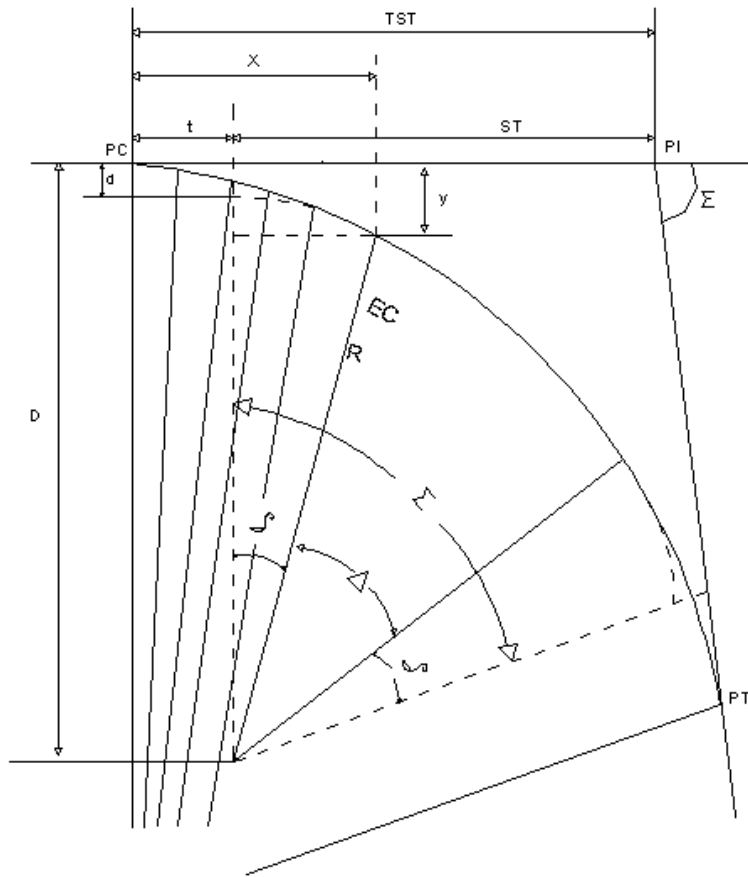


Figura 2. 9

Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta

PI: punto de intersección

PC: principia curva

PT: principia tangente

} Puntos de tangencia

EC: empieza circular

$\Delta$ : deflexión de la circular

$\delta$ : deflexiones

ST: subtangente

T: tangente

R: radio

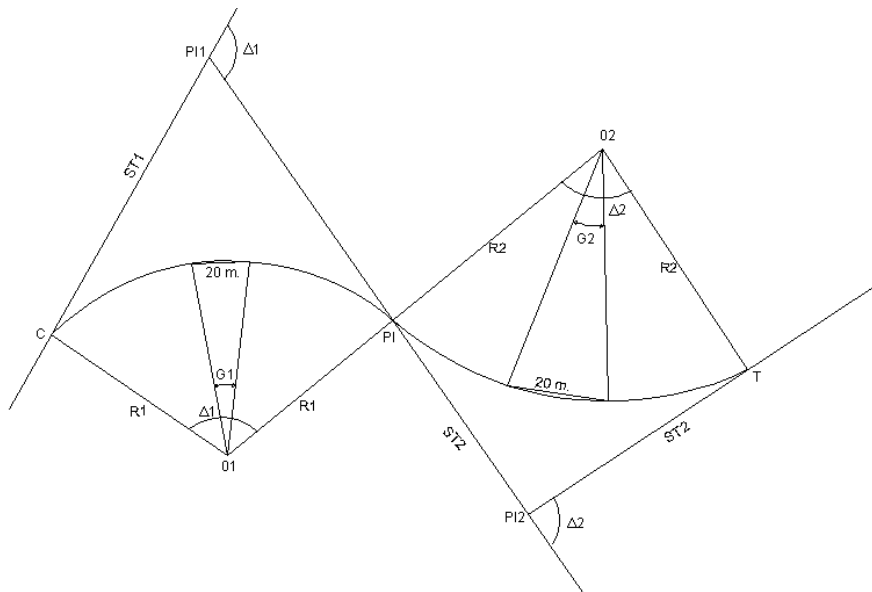
D: diámetro mayor

S: suma de la deflexión de la circular y las deflexiones ( $\Delta+d$ )

t: coordenada "x" del centro de la curva circular

d: coordenada "y" del centro de la curva circular

X: coordenada del PC



*Figura 2. 10*

Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva compuesta

$P_{1,2,\dots}$ : puntos de inflexión

C: comienza curva

T: termina curva

$ST_{1,2,\dots}$ : subtangentes

$\Delta_{1,2,\dots}$ : deflexiones

$G_{1,2,\dots}$ : grados de curvatura (ángulo que subtiende una cuerda de 20m)

$R_{1,2,\dots}$ : radios

$O_{1,2,\dots}$ : centros de las curvas

Una vez escogido el grado de curvatura central conoceremos el número de tramos que formen la transición. Cada tramo está constituido como el de una curva simple, se conocen sus ángulos, longitudes e inclinación o deflexión de cada uno con respecto a la tangente, por consecuencia para cada número dado de tramos se podrá conocer las distancias (X) y (y) sumando las proyecciones de los tramos o cuerdas.



Estas distancias (X) y (y) fijan la posición del punto (EC) donde termina la espiral y comienza la curva central. Conocidas las distancias se calculan (t) y (d) que son elementos fundamentales para estas curvas espirales.

$$t = X - R \operatorname{sen} \delta$$

$$d = y - (R - R \operatorname{cos} \delta)$$

simplificando términos:

$$d = y - R(1 - \operatorname{cos} \delta)$$

factorizando  $\delta$ :

$$d = (y - R \operatorname{sen} \delta) \operatorname{ver} \delta$$

Una vez que obtuvimos los elementos anteriores se calcula la TST que se necesita para fijar el PC.

$$TST = ST + t$$

$$D = R + d$$

$$ST = D \tan \frac{1}{2} \Sigma$$

despejando la deflexión total  $\Sigma$ :

$$\Sigma = \Delta + 2d$$

### 2.3 Curvas de transición

Se le conoce a la que liga una tangente con una curva circular, su característica principal es que en su longitud se realiza de manera prolongada un cambio en el valor del radio de curvatura, en la tangente de manera infinita hasta el de la curva circular.

Recordando que la curvatura de una curva en un punto A, al límite de las curvaturas medias de los arcos de dicha curva que tienen el mismo extremo A, cuando el segundo extremo tiende a A ; la curvatura media de un arco es el cociente del ángulo de contingencia del arco y su longitud.

La curva de transición se tiene que proyectar de forma que la variación de la curvatura y por consiguiente la de la aceleración centrífuga sean constantes a lo largo de ella. Como la longitud de la curva de transición es  $l_e$ , la variación de la aceleración centrífuga por unidad de longitud vale:  $v^2/R_0 l_0$  ; en cualquier punto que pertenezca a la curva, situado a una distancia  $l$  del origen de la transición resulta que la aceleración centrífuga valdrá:  $v^2 l/R_0 l_0$  , considerando que la curvatura en el punto considerado es  $l/R$  la aceleración centrífuga en ese mismo punto valdrá:  $v^2/R$  entonces:

$$\frac{v^2 l}{R_0 l_0} = \frac{v^2}{R}$$

Simplificando:

$$R l = R_0 l_0$$

Sin embargo:

$$R_0 l_0 = K^2$$

La expresión matemática anterior es la ecuación de la curva conocida como clotoide o espiral de Euler, la cual tiene que cumplir con la condición de que el producto del radio y la longitud a cualquier punto es constante, tiene la propiedad de que todas las clotoides tienen la misma forma pero diferente longitud.

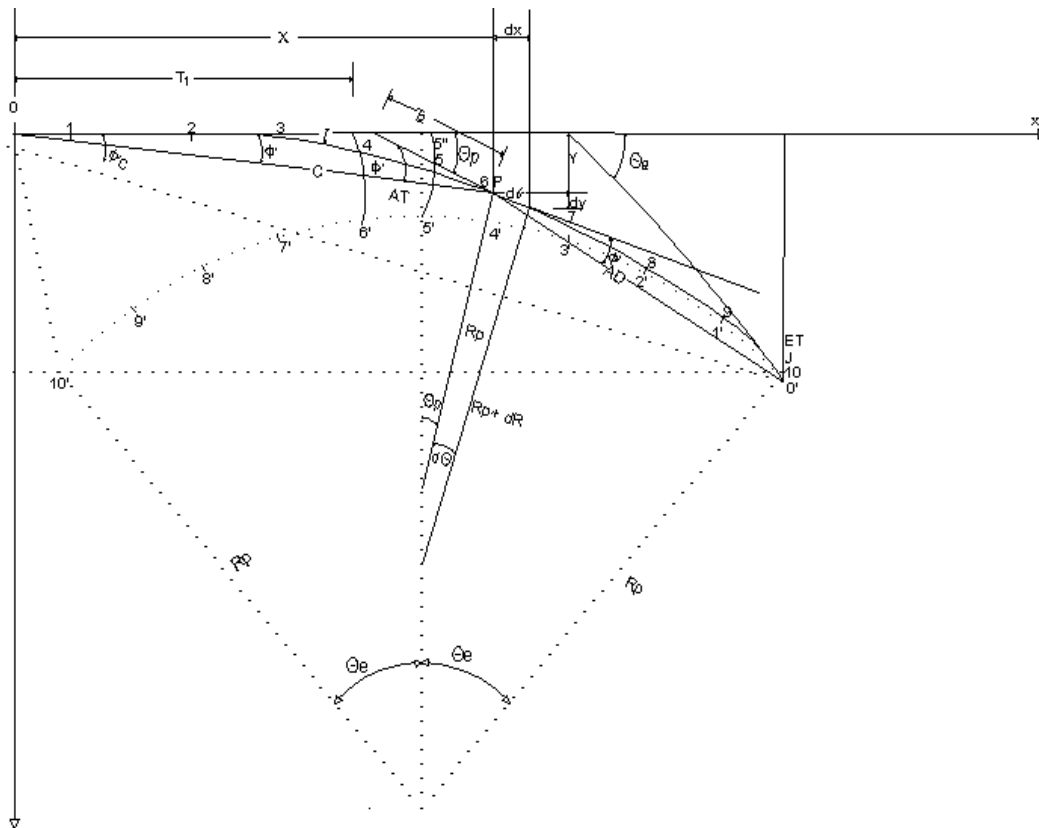


Figura 2. 11

Representación gráfica de los elementos geométricos de una curva de transición

P: Cualquier punto sobre la espiral

0: Punto de inicio de la espiral

10: Punto de término de la espiral

$\theta_e$ : Deflexión total de la espiral

$\theta_p$ : Deflexión de la espiral en un punto

$\phi'_c$ : Angulo de la cuerda larga de la espiral

$\phi'$ : Angulo de la cuerda a un punto

$\phi'_{AT}$ : Angulo respecto a la tangente en P, de cuerda anterior que subtiende un arco de espiral JP, cuya longitud es  $l_{JP}$

$\phi'_{AD}$ : Angulo respecto a la tangente en P, de cuerda posterior que subtiende un arco de espiral JP, cuya longitud es  $l_{JP}$

$l$ : Longitud de espiral desde el origen al punto P

C: Cuerda de la espiral del origen al punto P

$R_p$ : Radio de curvatura de la espiral en el punto P

X,Y: Coordenadas del punto P

$T_1$ : Tangente larga al punto P

$T_2$ : Tangente corta al punto P

### 3. Cálculo de los elementos para trazo de una curva horizontal

#### Caso 1

Datos

Deflexión ( $\Delta$ )

Grado de curvatura (g)

Punto de inflexión (PI)

Dado que tenemos la deflexión lo primero que se calcula es el Radio, la figura 3.1 nos servirá para buscar una relación.

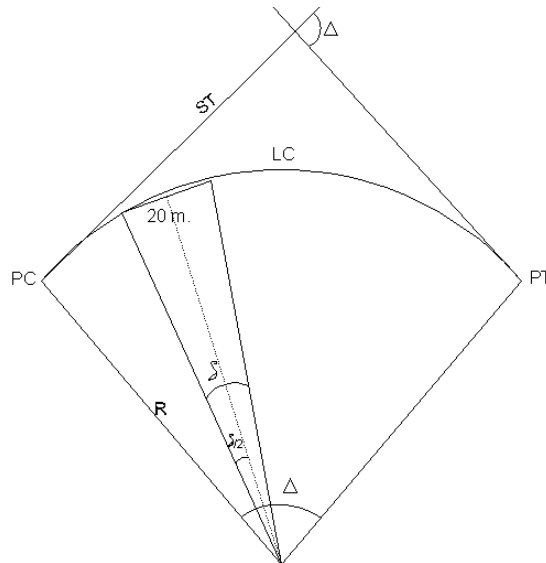


Figura 3. 1 Representación gráfica de curva horizontal, deflexión por 20 m

Con los datos proporcionados se forma un triángulo rectángulo y tenemos la siguiente relación

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{c}{R}$$

Reagrupando términos

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{C}{2R}$$

Despejando el Radio

$$R = \frac{C}{2 \text{ sen } \frac{\delta}{2}}$$

En la figura 3.1 se observa que

$$\delta = \frac{g}{2}$$

Ahora se calcula la subtangente, apoyándonos de la figura 3.2 se obtiene la siguiente relación

$$\tan \frac{\Delta}{2} = \frac{ST}{R}$$

Despejando la subtangente (ST) tenemos

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2}$$

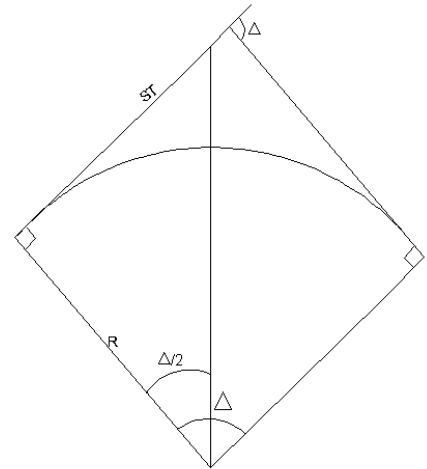


Figura 3. 2 Representación grafica de curva horizontal

Teniendo los valores de ST y PI podemos calcular el cadenamiento del PC

$$PC = PI - ST$$

Ahora calcularemos la curva C´

Para esto se considera el valor del PC, se redondea la cifra a un valor múltiplo de 20 y se restan, el resultado será C´

Para el cálculo de la longitud de cuerda LC regresaremos a la figura 3.1

Tenemos que:

$$\frac{LC}{\Delta} = \frac{C}{\delta}$$

Despejando se obtiene que

$$LC = \frac{\Delta C}{\delta}$$

Para calcular el PT

$$PT = PC + LC$$

Teniendo el PT podemos calcular la C''

Dependiendo del valor del PT se irá al múltiplo de 20 menor de este, la resta será C''

Para saber el número de cuerdas

$$N^{\circ} \text{ cuerda}_{20m} = \frac{PT - PC}{C}$$

Por último calcularemos las deflexiones  $\delta$

$$\delta' = 2 \sin^{-1} \frac{C'}{2R}$$

$$\delta_{1,2,3,\dots,n} = 2 \sin^{-1} \frac{C}{2R}$$

$$\delta'' = 2 \sin^{-1} \frac{C''}{2R}$$

Resumiendo tenemos:

Cadenamiento	$\delta$	$\delta$ acumulada	cuerda	Cuerda i	x	y
0+....	$\delta' =$	$\delta'$	$C'$	$C'$	$C' \text{sen}(\delta')$	$C' \text{cos}(\delta')$
	$\delta_1 =$	$\delta' + \delta_1$	$C_1$	$C_1 = 180 - (\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{sen}(\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{cos}(\delta' + \delta_1)$
	$\delta_2 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2$	$C_2$	$C_2 = 180 - (\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$
	$\delta_3 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	$C_3$	$C_3 = 180 - (\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{sen}(\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{cos}(\delta' + \dots + \delta_3)$
	$\delta_n =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n$	$C_n$	$C_n = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$
	$\delta'' =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n + \delta'' = \Delta$	$C''$	$C'' = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$
	S= $\Delta$					

## Caso 2

Datos

Radio ( R )

Deflexión (Δ)

Punto de inflexión (PI)

Lo primero que se calcula es la deflexión por 20 m ( $\delta_{20m}$ ) apoyaremos de la figura 3.1 para buscar una relación.

Si observamos nos damos cuenta que tenemos un triángulo rectángulo por lo que tenemos

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{c}{R}$$

Reagrupando términos

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{C}{2R}$$

Despejando términos tenemos

$$\delta = 2 \text{ sen}^{-1} \frac{C}{2R}$$

Ahora calcularemos la subtangente por lo que buscaremos la relación con la figura 3.2, donde se observa un triángulo rectángulo

$$\tan \frac{\Delta}{2} = \frac{ST}{R}$$

Despejando ST tenemos

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2}$$

Teniendo los valores de ST y PI podemos calcular el cadenamiento del PC

$$PC = PI - ST$$

Ahora calcularemos la curva C´

Para esto solo hay que fijarse en el valor del PC, cerrar la cifra a un valor múltiplo de 20 y restarlo, el resultado será C´

Para el cálculo de la longitud de cuerda LC nos apoyaremos con la figura 3.1

Tenemos que:

$$\frac{LC}{\Delta} = \frac{C}{\delta}$$

Despejando se obtiene que

$$LC = \frac{\Delta C}{\delta}$$

Para calcular el PT

$$PT = PC + LC$$

Teniendo el PT podemos calcular la C”

Dependiendo del valor del PT se irá al múltiplo de 20 menor de este, la resta será C”

Para saber el número de cuerdas

$$N^{\circ} \text{ cuerda}_{20m} = \frac{PT - PC}{C}$$

Por último calcularemos las deflexiones  $\delta$

$$\delta' = 2 \sin^{-1} \frac{C'}{2R}$$

$$\delta_{1,2,3,\dots,n} = 2 \sin^{-1} \frac{C}{2R}$$

$$\delta'' = 2 \sin^{-1} \frac{C''}{2R}$$



Resumiendo tenemos:

Cadenamiento	$\delta$	$\delta_{\text{acumulada}}$	cuerda	Cuerda i	x	Y
0+....	$\delta' =$	$\delta'$	$C'$	$C'$	$C' \text{sen}(\delta')$	$C' \text{cos}(\delta')$
	$\delta_1 =$	$\delta' + \delta_1$	$C_1$	$C_1 = 180 - (\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{sen}(\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{cos}(\delta' + \delta_1)$
	$\delta_2 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2$	$C_2$	$C_2 = 180 - (\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$
	$\delta_3 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	$C_3$	$C_3 = 180 - (\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{sen}(\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{cos}(\delta' + \dots + \delta_3)$
	$\delta_n =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n$	$C_n$	$C_n = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$
	$\delta'' =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n + \delta'' = \Delta$	$C''$	$C'' = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$
	$S = \Delta$					

### Caso 3

Datos

Grado de curvatura (g)

Subtangente(ST)

Punto de inflexión (PI)

Como el caso 1 lo primero es calcular el Radio, la figura 3.1 que nos servirá para buscar una relación.

Con los datos proporcionados se forma un triángulo rectángulo y tenemos la siguiente relación

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{c}{2R}$$

Reagrupando términos

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{C}{2R}$$

Despejando el Radio

$$R = \frac{C}{2 \sin \frac{\delta}{2}}$$

En la figura 3.1 se observa que

$$\delta = \frac{g}{2}$$

Ahora con la expresión de subtangente y con ayuda de la figura 3.2 calcularemos la deflexión ( $\Delta$ )

$$\tan \frac{\Delta}{2} = \frac{ST}{R}$$

Despejando tenemos

$$\Delta = 2 \tan^{-1} \frac{ST}{R}$$

Con los valores de ST y PI podemos calcular el cadenamiento del PC

$$PC = PI - ST$$

Ahora calcularemos la curva C´

Para esto se considera el valor del PC, se redondea la cifra a un valor múltiplo de 20 y la resta será el resultado C´

Para el cálculo de la longitud de cuerda LC regresaremos a la figura 3.1

Tenemos que:

$$\frac{LC}{\Delta} = \frac{C}{\delta}$$

Despejando se obtiene que

$$LC = \frac{\Delta C}{\delta}$$

Para calcular el PT

$$PT = PC + LC$$

Teniendo el PT podemos calcular la C''

Dependiendo del valor del PT se irá al múltiplo de 20 menor de este, la resta será C''

Para saber el número de cuerdas

$$N^{\circ} \text{ cuerda}_{20m} = \frac{PT - PC}{C}$$

Por último calcularemos las deflexiones  $\delta$

$$\delta' = 2 \sin^{-1} \frac{C'}{2R}$$

$$\delta_{1,2,3,\dots,n} = 2 \sin^{-1} \frac{C}{2R}$$

$$\delta'' = 2 \sin^{-1} \frac{C''}{2R}$$

Resumiendo tenemos:

Cadenamiento	$\delta$	$\delta$ acumulada	cuerd a	Cuerda i	x	y
0+....	$\delta' =$	$\delta'$	$C'$	$C'$	$C' \text{sen}(\delta')$	$C' \text{cos}(\delta')$
	$\delta_1 =$	$\delta' + \delta_1$	$C_1$	$C_1 = 180 - (\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{sen}(\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{cos}(\delta' + \delta_1)$
	$\delta_2 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2$	$C_2$	$C_2 = 180 - (\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$
	$\delta_3 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	$C_3$	$C_3 = 180 - (\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{sen}(\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{cos}(\delta' + \dots + \delta_3)$
	$\delta_n =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n$	$C_n$	$C_n = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$
	$\delta'' =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n + \delta'' = \Delta$	$C''$	$C'' = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$
	$S = \Delta$					

## Caso 4

Datos

Subtangente ( ST )

Deflexión ( $\Delta$ )

Punto de inflexión (PI)

Lo primero que calcularemos será el radio, buscaremos la relación con apoyo de la figura 3.1

Si observamos nos damos cuenta que tenemos un triángulo rectángulo que involucra a ST y  $\Delta$

$$R = \frac{\tan \frac{\Delta}{2}}{ST}$$

Ahora calcularemos  $\delta_{20m}$ , en la figura 3.2 vemos un triángulo rectángulo la siguiente relación:

$$\text{sen} \frac{\delta}{2} = \frac{C}{2R}$$

Despejando términos tenemos

$$\delta = 2 \text{sen}^{-1} \frac{C}{2R}$$

Con los valores de ST y PI podemos calcular el cadenamiento del PC

$$PC = PI - ST$$

Ahora calcularemos la curva C´

Para esto solo hay que fijarse en el valor del PC, cerrar la cifra a un valor múltiplo de 20 y restarlo, el resultado será C´

Para el cálculo de la longitud de cuerda LC buscaremos una relación con la figura 3.2

Tenemos que:

$$\frac{LC}{\Delta} = \frac{C}{\delta}$$

Despejando se obtiene que

$$LC = \frac{\Delta C}{\delta}$$

Para calcular el PT

$$PT = PC + LC$$

Ya teniendo el PT podemos calcular la C''

Dependiendo del valor del PT se irá al múltiplo de 20 menor de este, la resta será C''

Para saber el número de cuerdas

$$N^{\circ} \text{ cuerda}_{20m} = \frac{PT - PC}{C}$$

Por último calcularemos las deflexiones  $\delta$

$$\delta' = 2 \sin^{-1} \frac{C'}{2R}$$

$$\delta_{1,2,3,\dots,n} = 2 \sin^{-1} \frac{C}{2R}$$

$$\delta'' = 2 \sin^{-1} \frac{C''}{2R}$$

Resumiendo tenemos:

Cadenamiento	$\delta$	$\delta_{\text{acumulada}}$	cuerda	Cuerda i	X	y
0+....	$\delta' =$	$\delta'$	$C'$	$C'$	$C' \text{sen}(\delta')$	$C' \text{cos}(\delta')$
	$\delta_1 =$	$\delta' + \delta_1$	$C_1$	$C_1 = 180 - (\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{sen}(\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{cos}(\delta' + \delta_1)$
	$\delta_2 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2$	$C_2$	$C_2 = 180 - (\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$
	$\delta_3 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	$C_3$	$C_3 = 180 - (\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{sen}(\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{cos}(\delta' + \dots + \delta_3)$
	$\delta_n =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n$	$C_n$	$C_n = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$
	$\delta'' =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n + \delta'' = \Delta$	$C''$	$C'' = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$
	$S = \Delta$					

## Caso 5

Datos

Velocidad de proyecto

Deflexión ( $\Delta$ )

Punto de inflexión (PI)

Lo primero es consultar “Normas de Servicios Técnicos: Proyecto Geométrico” , tabla 004-1, para que con la velocidad de proyecto conozcamos el grado máximo de curvatura para proyecto en grados (g)

Dado que tenemos la deflexión se calcula el Radio, la figura 3.1 nos servirá para buscar una relación.

Con los datos proporcionados se forma un triángulo rectángulo y tenemos la siguiente relación

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{\frac{C}{2}}{R}$$

Reagrupando términos

$$\text{sen } \frac{\delta}{2} = \frac{C}{2R}$$

Despejando el Radio

$$R = \frac{C}{2 \text{ sen } \frac{\delta}{2}}$$

En la figura 3.1 se observa que

$$\delta = \frac{g}{2}$$

Ahora se calcula la subtangente, apoyándonos de la figura 3.2 se obtiene la siguiente relación

$$\tan \frac{\Delta}{2} = \frac{ST}{R}$$



Despejando la subtangente (ST) tenemos

$$ST = R \tan \frac{\Delta}{2}$$

Teniendo los valores de ST y PI podemos calcular el cadenamiento del PC

$$PC = PI - ST$$

Ahora calcularemos la curva C´

Para esto se considera el valor del PC, se redondea la cifra a un valor múltiplo de 20, la resta será el resultado C´

Para el cálculo de la longitud de cuerda LC regresaremos a la figura 3.1

Tenemos que:

$$\frac{LC}{\Delta} = \frac{C}{\delta}$$

Despejando se obtiene que

$$LC = \frac{\Delta C}{\delta}$$

Para calcular el PT

$$PT = PC + LC$$

Teniendo el PT podemos calcular la C”

Dependiendo del valor del PT se irá al múltiplo de 20 menor de este, la resta será C”

Para saber el número de cuerdas

$$N^{\circ} \text{ cuerda}_{20m} = \frac{PT - PC}{C}$$

Por último calcularemos las deflexiones  $\delta$

$$\delta' = 2 \sin^{-1} \frac{C'}{2R}$$

$$\delta_{1,2,3,\dots,n} = 2 \sin^{-1} \frac{C}{2R}$$

$$\delta'' = 2 \sin^{-1} \frac{C''}{2R}$$

Resumiendo tenemos:

Cadenamiento	$\delta$	$\delta_{\text{acumulada}}$	cuerda	Cuerda i	X	y
0+....	$\delta' =$	$\delta'$	$C'$	$C'$	$C' \text{sen}(\delta')$	$C' \text{cos}(\delta')$
	$\delta_1 =$	$\delta' + \delta_1$	$C_1$	$C_1 = 180 - (\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{sen}(\delta' + \delta_1)$	$C_1 \text{cos}(\delta' + \delta_1)$
	$\delta_2 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2$	$C_2$	$C_2 = 180 - (\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$	$C_2 \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \delta_2)$
	$\delta_3 =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$	$C_3$	$C_3 = 180 - (\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{sen}(\delta' + \dots + \delta_3)$	$C_3 \text{cos}(\delta' + \dots + \delta_3)$
	$\delta_n =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n$	$C_n$	$C_n = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$	$C_n \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n)$
	$\delta'' =$	$\delta' + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_n + \delta'' = \Delta$	$C''$	$C'' = 180 - (\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{sen}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$	$C'' \text{cos}(\delta' + \delta_1 + \dots + \delta_n + \delta'')$
	$S = \Delta$					

## Caso 6

La clotoide o espiral de Euler

Por definición, es una curva en donde los radios de curvatura de cada uno de sus puntos están en razón inversa a los desarrollos de sus arcos, siendo  $k^2$  una constante de proporcionalidad; es decir:

$$R = \frac{k^2}{l}$$

De la figura 2.11 de la curva respectiva podemos concluir que  $Rd\theta = dl$ , despejando  $d\theta$  resulta

$$d\theta = \frac{dl}{R}$$

Si integramos  $d\theta$  se tiene que:

$$\theta = \frac{l^2}{2R_c l_e}$$

Si se quiere en grados:

$$\theta = \frac{G_c l^2}{40 l_e}$$

Recordando que:

$$dx = dl \cos \theta$$

$$dy = dl \sin \theta$$

Si se desarrolla en serie y sustituimos el valor de  $\theta$  tenemos:

$$x = l \left( 1 - \frac{\theta^2}{5 * 2!} + \frac{\theta^4}{9 * 4!} - \frac{\theta^6}{13 * 6!} + \dots \right)$$

$$y = l \left( \frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{7 * 3!} + \frac{\theta^5}{11 * 5!} - \frac{\theta^7}{15 * 7!} + \dots \right)$$

Expresándolo en grados queda:

$$x = \frac{1}{100} [100 - 0.304617\theta^2(10)^{-2} + 0.429591\theta^4(10)^{-7} - 0.301987\theta^6(10)^{-12}]$$

$$y = \frac{1}{100} [0.581776\theta - 0.126585\theta^3(10)^{-4} + 0.122691\theta^5(10)^{-9} - 0.652559\theta^7(10)^{-15}]$$

De la figura 2.11 de esta curva se deduce también:

$$C = \sqrt{x^2 + y^2} = ycsc \varphi' = xsec \varphi'$$

$$T_1 = x - ycot\theta$$

$$T_2 = ycsc\theta$$

De igual manera:

$$\varphi' = \text{angtan} \frac{y}{z}$$

En la práctica se tiene

$$\varphi' = \frac{\theta}{3} - z$$

## Casos especiales

Cuando se traza el alineamiento horizontal en zonas ya urbanizadas o que existen propiedades privadas se requiere acoplar los cambios de dirección al terreno o área disponible formándose curvas compuestas de dos o más curvas cuyos grados de curvatura variaran con el fin de apegarse a las normas y al terreno disponible.

A continuación se presentan ejemplos gráficos:



*Imagen 3. 1*  
*Distribuidor vial consultada abril 2014<sup>23</sup>*



*Imagen 3. 2*  
*Distribuidor vial consultada abril 2014<sup>24</sup>*

---

<sup>23</sup> <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=271370&page=3>

<sup>24</sup> <http://img81.imageshack.us/img81/5866/1024ccsvista117sk.jpg>

## 4. Replanteo de curvas

### 4.1 Curvas circulares conocidas las dos tangentes y el radio

Se sabe que una curva circular está trazada o replanteada en el campo cuando se tienen suficientes puntos para representar su forma y se pueden intercambiar sin dificultad que pertenezcan a la misma.

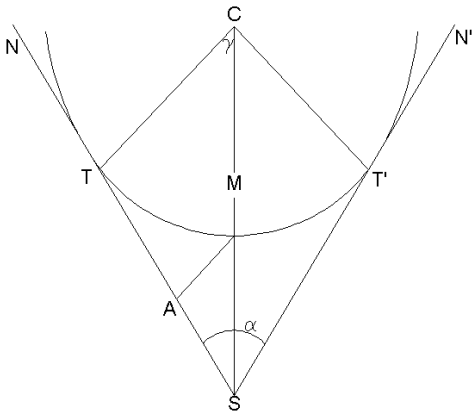


Figura 4. 1 Representación gráfica de unión o enlace de alineaciones rectas con arcos de círculo

Usualmente en los trazados de caminos se presentan el caso de unir o enlazar alineaciones rectas con arcos de círculo, teniendo como datos, la posición de las tangentes en el campo así como el valor del radio de la curva. En caso de que ya se tenga el proyecto sobre un mapa, además de su eje tiene rectas y arcos circulares, se replantean las alineaciones rectas también se toma nota de los radios de las curvas con los que se dibujaron las curvas en el proyecto. En otras palabras, primero se replantean las tangentes, después las curvas, señalando los puntos principales y los de relleno.

Supongamos que en el terreno tengamos trazadas dos alineaciones rectas SN y SN', que se tiene que unir mediante un arco de círculo TMT', primero se señalan los puntos de tangencia T y T' de igual forma el punto medio M del arco que se llama vértice de la curva, como se observa en la figura 4.1

En S que es el punto de intersección entre las dos alineaciones se pone en estación un teodolito y se mide el ángulo formado por ambas NSN' =  $\alpha$ , la precisión de la medición del ángulo es tanto mayor cuanto menor sea éste, y cuanto mayor sea el radio del arco. Se toma la mitad del ángulo ( $\alpha/2$ ) a partir de ST y de ST', con lo que ya está comprobado ese ángulo y para el trazo futuro.

Con el ángulo  $\alpha$  y el radio  $r$  del proyecto se calculan los elementos necesarios para el replanteo que se propuso.

La mitad del ángulo en el centro o semiángulo central TCT será TCS = T'CS =  $\gamma$  donde:

$$\gamma = 90^\circ - \frac{\alpha}{2}$$

La subtangente ST, igual a la ST' será:

$$ST = ST' = r \tan(\gamma)$$

Bajando desde M, que es el punto medio del arco, la perpendicular MA a la subtangente ST se tiene:

$$x \text{ TA} = r \sin(\gamma)$$

$$y \text{ AM} = r - r \cos(\gamma) = 2r \sin^2 \frac{\gamma}{2}$$

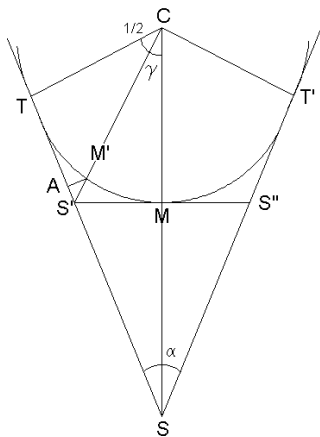
Para el valor de la parte exterior de la secante estará dado por la siguiente igualdad

$$SM=SC-MC=\frac{r}{\cos\gamma} - r = r \tan \gamma \tan \frac{\gamma}{2}$$

La longitud del semiarco será

$$TM= MT' = \frac{r\gamma}{\rho}$$

#### 4.2 Tangente secundaria en el punto medio de la curva



Cuando  $\alpha$ , ángulo formado por las dos tangentes, es pequeño, y por consecuencia, la parte exterior SM de la secantes es muy grande, se usa la tangente S'S'' a la curva en su vértice o punto medio M, como referencia la figura 4.2

Considerando trazada la recta CS' se le llama  $\gamma$  al ángulo TCM:

$$TCS'=S'CM= \frac{\gamma}{2}$$

Por otro lado tenemos:

$$TS' = S'M= MS'' = S''T$$

Figura 4. 2 Representación gráfica de una tangente secundaria en el punto medio de la curva

La subtangente ST es

$$ST=S'M = r \tan \frac{\gamma}{2}$$

Bajando desde M, que es el punto medio del arco, la perpendicular MA a la subtangente ST se tiene:

$$X TA= r \operatorname{sen} \frac{\gamma}{2} \quad \text{y} \quad AM' = r - r \cos \frac{\gamma}{2} = 2 r \operatorname{sen}^2 \frac{\gamma}{4}$$

Para el valor de la parte exterior de la secante estará dado por la siguiente igualdad

$$S'M'=r\left(\frac{1}{\cos\frac{\gamma}{2}} - 1\right)= r \tan \frac{\gamma}{2} \tan \frac{\gamma}{4}$$

La longitud del semiarco será

$$TM' = \frac{r\gamma}{2\rho}$$

### 4.3 Tangente secundaria asimétrica

Es posible utilizar tangentes secundarias no simétricas, en donde su punto de contacto no necesariamente tiene que ser el vértice de la curva, ver figura 4.3, como DCE, que determina sobre las tangentes principales SA y SB segmentos desiguales  $t_1$  y  $t_2$  cuyos valores son:

$$t_1 = DA = DC = r \tan \frac{\varphi}{2}$$

$$t_2 = EC = EB = r \tan \frac{\psi}{2}$$

La única condición de los ángulos  $\varphi, \psi$  es que su suma tiene que ser igual al suplemento de  $\alpha$ , es decir:  $\varphi + \psi = 180^\circ - \alpha$

Después que se obtengan los valores aproximados de  $\alpha, \varphi, \psi$  y el valor exacto de  $r$ , con precisión sobre el terreno se mide el ángulo  $\alpha$ , teniendo en cuenta el valor aproximado de  $\varphi$ , se calcula el de  $\psi = 180^\circ - \alpha - \varphi$

Cada tangente principal tendrá como longitud:

$$t = SA = SB = r \tan \frac{1}{2}(\psi + \varphi)$$

Con los valores de  $t, t_1$  y  $t_2$  se obtienen los de SD y SE, para comprobar una vez señalados los puntos D y E, se tiene:

$$t_1 + t_2 = DE = \frac{SD}{\text{sen } \psi} \text{sen } \alpha = \frac{SD}{\text{sen } \varphi} \text{sen } \alpha$$

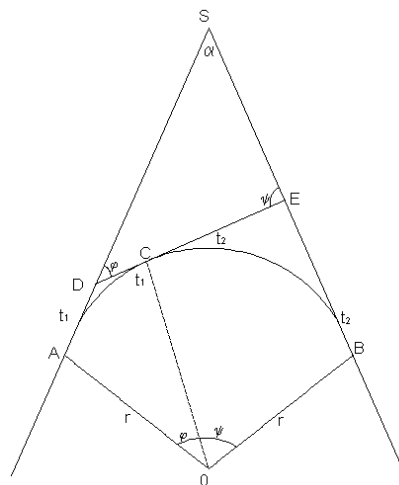


Figura 4. 3 Representación de una tangente secundaria asimétrica



#### 4.4 Cuerdas principales y secundarias

Especialmente en casos de curvas planas, se puede utilizar, para replanteo de puntos nuevos de la curva o comprobación, las curvas determinadas por sus puntos principales, tales como  $TT$ ,  $TM$  y  $T'M$  o las  $AB$ ,  $AC$  y  $BC$ .

En las figuras de los dos últimos puntos, el valor de la mitad de la cuerda  $TT'$  está dado por la expresión:

$$\frac{1}{2}TT' = TA = r \operatorname{sen} \gamma$$

La mitad de cuerda de  $TM$  es:

$$\frac{1}{2}TM = r \operatorname{sen} \frac{\gamma}{2} = TA$$

En la figura de 4.1 la flecha de arco, de  $F$  al punto medio  $TT'$ , tiene la siguiente expresión:

$$FM' = AM' = r - r \cos \gamma = 2r \operatorname{sen}^2 \frac{\gamma}{2}$$

Las flechas correspondientes a los arcos secundarios  $TM$  y  $TM'$  de la figura 4.2 serán:

$$FM' = AM' = r - r \cos \gamma = 2r \operatorname{sen}^2 \frac{\gamma}{4}$$

En el caso de las cuerdas desiguales (4.3)  $AC$  y  $BC$  se pueden aplicar las mismas formulas tomando en cuenta la variación correspondiente a los ángulos en el centro.

#### 4.5 Cuando es inaccesible el punto de intersección de las dos alineaciones

Este caso se presenta con frecuencia por caer sobre agua, en terreno arbolado, en escarpas o taludes, o simplemente está demasiado distante o es incómodo su acceso; en estos casos se puede prescindir del vértice S, uniendo entre sí, cerca de los puntos de tangencia, dos puntos A y B de las alineaciones, como referencia la figura 4.4

Midiendo la distancia  $AB$  y los ángulos  $\varphi$  en A, y  $\psi$  en B, se tiene:

$$\alpha = \varphi + \psi - 180^\circ$$

$$\gamma = 90^\circ - \frac{\alpha}{2} \quad \text{o bien} \quad \gamma = 180^\circ - \frac{\varphi + \psi}{2}$$

$$SA = \frac{AB}{\text{sen } \alpha} \text{sen } \psi$$

$$SB = \frac{AB}{\text{sen } \alpha} \text{sen } \varphi$$

Podemos comprobar los resultados obtenidos usando  $AB$  con la otra línea  $A'B'$

De esta manera reducimos el problema al caso general de vértice S accesible.

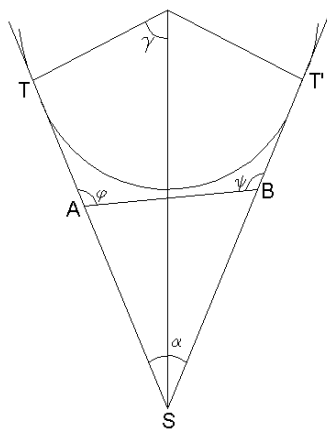


Figura 4. 4 Representación gráfica cuando es inaccesible el punto de intersección de dos alineaciones

## 5. Conclusiones

De acuerdo a todos los métodos de cálculo de los elementos de las curvas para su trazo en campo tanto para caminos como para vías férreas, tienen un secuencia similar, debido a que la geometría de todos los elementos que intervienen en ellas cumplen con condiciones básicas las cuales pueden calcularse mediante la ciencia de la trigonometría, no obstante, es muy importante basarse y no descuidar la normatividad en caminos o vías férreas del país en donde se esté trabajando, ya que de estas depende la variante que se presente en los cálculos entre las diferentes zonas. Sin embargo, la metodología que en esta tesis se presenta, sirve de base para los profesionistas que laboren en esta área, fungiendo como un manual que les podrá aclarar dudas en el campo de trabajo.

Cabe aclarar que en el presente trabajo solo se mencionaron unos casos que pueden servir como una base que junto con los conocimientos adquiridos, sin olvidar al ingenio se podrán resolver al momento de que aparezcan.

## Anexo

- Aborígen: Se refiere a los primitivos moradores de un territorio
- Autopista: Vía multicarril sin cruces a nivel con otra calle, con calzadas separadas físicamente, tiene curvas poco pronunciadas, no tiene cruces a nivel.
- Brecha: Camino antiguo angosto que está cubierto por lo general de áspera y punzante vegetación
- Cadenamiento: Son las distancias comprendidas de un punto a otro, generalmente en metros y kilómetros, utilizadas para poligonales abiertas, en una vía de comunicación; ejemplo 0+000
- Calle: Vialidad definida para el tránsito vehicular o peatonal
- Calzada: Zona de una vía que está destinada únicamente a la circulación de vehículos
- Camino: Vía de comunicación terrestre no pavimentada para tránsito vehicular, peatonal o de animales
- Carretera: Es una vía pública, ruta o camino de tierra entre dos lugares, que ha sido pavimentada o mejorada
- Clotoide: Curva en donde su radio es inversamente proporcional a su longitud
- Cuerda mayor: Línea recta que une al punto de tangencia donde comienza la curva con el punto de tangencia donde termina
- Deflexión: Es el ángulo que se forma con la prolongación de uno de los alineamientos rectos y el siguiente, es igual al ángulo central subtendido por el arco( $\Delta$ )
- Derecho de vía: Bien del dominio público de la Federación constituido por la franja de terreno de anchura variable, cuyas dimensiones fija la Secretaría, que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía de comunicación carretera y sus servicios auxiliares.
- Eje de trazo: Es una línea guía que se usa para trazar un camino u obra hidráulica
- Empieza circular: Punto donde termina la clotoide y empieza la curva circular
- Envergadura: Distancia entre un punto A y un punto B, por ejemplo la distancia entre los extremos de las alas de un avión o de los brazos cuando se extienden en cruz
- Exsecante o externa: Distancia desde el punto de intersección al punto medio de la curva sobre el arco
- Flecha: Distancia desde el punto medio de la curva hasta el punto medio de la cuerda larga
- Grado de curvatura: Ángulo bajo el cual se ve una curva, normalmente de 20m, desde el centro de la curvas.

- Piedra argamasada: Piedra que antiguamente se usaba en la construcción de casas y murallas, tiene una consistencia más elástica que el cemento pero es menos resistente por lo que los romanos la sustituyeron.
- Pista: Carretera importante, con dos o más espacios para cada sentido de la circulación
- Principia curva: Es el punto donde inicia la curva.
- Puente: Es una obra de ingeniería que se levanta sobre una depresión del terreno, como ríos, valles, lagos o brazos de mar o sobre obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras para comunicar dos lados.
- Puesta en estación: Se refiere a colocar un instrumento topográfico sobre la vertical del punto de terreno desde el que se van a realizar las observaciones.
- Punto de inflexión: Punto en donde se intersectan las tangentes
- Ruta: Es un camino, vía o carretera que une diferentes lugares geográficos, al mismo tiempo, una ruta es la dirección que se toma para un propósito.
- S.C.O.P: Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, ahora llamada Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Sinuosidad: Algo que es ondulado, curvo o una concavidad que forma una cosa encorvada.
- Subtangente: Distancia comprendida entre el punto de intersección y el punto de comienzo o entre el punto de intersección y el punto de termino
- Tangente: Distancia comprendida entre dos puntos cualesquiera sobre la tangente o un punto cualquiera y el punto de comienzo o un punto de termino
- Teodolito: Es un tipo de telescopio que se puede utilizar en el plano horizontal así como en el vertical para medir ángulos
- Tramo: Es una parte de un camino o vía
- Trazo: Es la medición y la delimitación en un territorio dado de las dimensiones que observará una obra de construcción.
- Túnel: Excavación subterránea, abierta artificialmente a través de un obstáculo geográfico para dar paso a una vía de comunicación terrestre
- Vereda: Camino angosto que suele crearse a partir del tránsito de peatones o animales.
- Vía: Camino por el cual se transitan peatones y vehículos, es un espacio definido de manera lineal que puede permitir el acceso a los edificios que están a los costados

## 6. Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- Montes de Oca, Miguel(1996/2007)*Topografía* (4° reimpresión).(pp.153-168),México: Editorial Alfaomega
- Higashida Miyabara, Sabro(1971) *Topografía General* (pp.315-351), México sin Editorial
- Dr. W. Jordan (1981) *Tratado General de Topografía 2da Parte* (6ta tirada). (pp.479-484) Ediciones G. Gili. S.A.
- *Manual de proyecto geométrico de carreteras* (pp. 304-308) Secretaría de asentamientos humanos y obras públicas (SAHOP). Consultado febrero 2014.
- Normas de Servicios Técnicos (1984) “Proyecto Geométrico” Carreteras (p.18) México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Consultado febrero 2014

### Referencias electrónicas

- Anónimo (s.f.) *Historia de la Ingeniería*. Recuperado en noviembre 2013 de [http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/historia\\_ingenieria/historia.pdf](http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/historia_ingenieria/historia.pdf)
- ARQHYS Arquitectura (s.f.) *Historia de las carreteras*, Consultado noviembre 2013. Disponible en: <http://www.arqhys.com/contenidos/carreteras-historia.html>.
- ART DECO MÉXICO Periódico de Cultura, Arte y Moda (2012) *Inicio de las carreteras de México*. Consultado noviembre 2013. Disponible en: <http://www.artdecomexico.com/iniciodelascarreteras/>
- ClubEnsayos (2013) *Carreteras en México de 1970 a la fecha*. Consultado noviembre 2013. Disponible en: <http://clubensayos.com/Historia/CARRETERAS-EN-MEXICO-DE-1970/927782.html>
- Definición ABC (s.n).*Definición de trazo*. Consultado abril 2014. Disponible en: <http://www.definicionabc.com/general/trazo.php#ixzz2zTjDhcB0>
- Definición.de (s.n) .Consultado abril 2014. Disponible en: <http://definicion.de/>

- EcuRed (s.n) *Autopista*. Consultado abril 2014. Disponible en:  
<http://www.ecured.cu/index.php/Autopista#Caracter.C3.ADsticas>
- Educación (s.n) *Cómo utilizar teodolitos*. Consultado abril 2014. Disponible en:  
<http://educacion.uncomo.com/articulo/como-utilizar-teodolitos-1651.html>
- Está en tu mundo Blog de viajes (2013) *Ranking de las 10 carreteras más asombrosas del mundo, 4.7 out of 5 based on 7 ratings*. Consultado noviembre 2013. Disponible en:  
<http://www.estaentumundo.com/noticias-del-mundo/ranking-carreteras-increibles.html>
- Murillo Evaristo (s.n) *Primeros vehículos que recorrieron la brecha transpeninsular a principios de 1900 en BCS*. Consultado abril 2014. Disponible en:  
<http://informexcalifornia.blogspot.mx/p/primeros-vehiculos-que-recorrieron-la.html>
- Que significa (s.f.) *Mucho más que un diccionario de significados...* Consultado abril 2014 de <http://que-significa.com/>
- Radio La voz de Rusia (2013) *Publican la lista de países con mejores carreteras*. Consultado noviembre 2013. Disponible en: [http://spanish.ruvr.ru/2013\\_02\\_28/Divulgan-la-lista-de-paises-con-mejores-carreteras/](http://spanish.ruvr.ru/2013_02_28/Divulgan-la-lista-de-paises-con-mejores-carreteras/)
- UNESCO WORLD HERITAGE LIST (2010) *Camino Real de Tierra Adentro*. Consultado noviembre 2013. Disponible en: <http://whc.unesco.org/en/list/1351/>
- World Economic Forum (2013) *The Global Competitiveness Report 2013-2014*. Consultado noviembre 2013. Disponible en:  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2013-14.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2013-14.pdf)
- Figuras realizadas por: Ana Cynthia Antonio Maya