

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA



**“PROYECTO GEOMÉTRICO DEL ENTRONQUE
CASABLANCA, AUTOPISTA CÓRDOBA - XALAPA”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

IVÁN BARRERA RIOS

MÉXICO, DF 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

No hay nada más grato que el placer de una obra maestra al terminar, ni nada más ingrato que el trabajo de una vida mal elaborado.

A la institución que me formó con dedicación, esperanza y amor, mi familia, mis padres Victor M. Barrera y Rebeca Rios; ya que sin ellos no habría más que un vacío en toda esta vida.

Y mis hermanos Adrián, Ilean y Jhoan; que me compartieron su fuerza, esperanza y alegría para salir adelante cuando parecía que ya no se podía más.

Finalmente quiero agradecer a todas esas personas que fueron clave en mi vida, mis amigos que fueron parte de la formación de esta persona, compañeros y todos aquellos que, a manera de experiencias, me mostraron que en esta vida había más que en lo que en mi juicio conocía.

1	DESCRIPCIÓN.....	5
1.1	LOCALIZACIÓN	5
1.2	GEOLOGÍA	6
1.3	CLIMA.....	6
1.4	USO DE SUELO.....	6
1.5	VIALIDADES ACTUALES.....	7
1.6	DATOS DEL PROYECTO.....	7
1.6.1	<i>Clasificación de las vías.....</i>	7
1.6.2	<i>Anchos de las vialidades principales:.....</i>	8
1.6.3	<i>Velocidades de proyecto:.....</i>	8
1.6.4	<i>Tipo de terreno:</i>	9
1.6.5	<i>Sobreelevación máxima:.....</i>	9
1.6.6	<i>Grado de curvatura máxima.....</i>	11
1.6.7	<i>Bombeo:.....</i>	11
2	ANTEPROYECTO.....	11
2.1	ORIGEN - DESTINO	12
2.2	OBRAS EXISTENTES	12
3	PROYECTO.....	13
3.1	VELOCIDAD	13
3.2	TRAZO	14
3.2.1	<i>Tangentes</i>	14
3.2.2	<i>Curvas</i>	15
3.3	MATEMATIZACIÓN	22
3.4	GEOMETRÍA	24
3.4.1	<i>Calzada y acotamientos.....</i>	25
3.4.2	<i>Ampliaciones.....</i>	28
3.4.3	<i>Carriles de cambio de velocidad</i>	32
3.4.4	<i>Abocinamientos.....</i>	39
3.5	SOBREELEVACIÓN.....	41
3.6	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	44
3.6.1	<i>Registro de coordenadas</i>	44
3.6.2	<i>Registro de trazo.....</i>	45

3.6.3	<i>Registro de nivel</i>	46
3.6.4	<i>Registro de secciones</i>	48
3.6.5	<i>Referencia de trazo</i>	49
3.6.6	<i>Registro de drenaje</i>	50
3.7	GEOTECNIA	51
3.8	SUB-RASANTE	55
3.8.1	<i>Consideraciones particulares</i>	60
3.9	SECCIONES TRANSVERSALES	68
3.10	CURVA MASA	74
3.10.1	<i>Volúmenes</i>	74
3.10.2	<i>Acarreos</i>	79
3.11	PASOS A DESNIVEL	84
3.12	SEÑALAMIENTO	84
3.13	PAVIMENTO	85
3.14	DERECHO DE VÍA	86
3.15	CATÁLOGO DE CONCEPTOS	87
4	ANEXO	88
4.1	PLANTA GENERAL	A
4.2	PERFIL DE CONSTRUCCIÓN	B
4.3	SECCIONES DE CONSTRUCCIÓN	C
4.4	PLANTA DE SEÑALAMIENTO	D
5	BIBLIOGRAFÍA	I

1 Descripción

El entronque Casablanca es un entronque a desnivel requerido para dar conexión a la autopista que se dirige de la capital del estado de Veracruz, Xalapa, al puerto de Veracruz con la nueva autopista que se proyectará de Córdoba a Xalapa, dando también acceso al ramal que tiene como destino el municipio de Poza Rica.

Este entronque se ubicará en el kilómetro 0+000.00 de la autopista Córdoba – Xalapa y deberá dar acceso a todos los movimientos necesarios para que los vehículos puedan dirigirse a su destino sin tener que desviarse de su ruta principal.

1.1 Localización

El entronque se ubica al este del estado de Veracruz, en el municipio de Puente Nacional. Sobre la carretera Xalapa – Cardel en el kilómetro 60.

Entre las coordenadas 768,400.00 y 769,400.00 en el eje “X” y las coordenadas 2,140,700.00 y 2,141,700.00 en el eje “Y”.



Imagen 1 Localización del Entronque Casablanca

1.2 Geología

El entronque a desnivel se localiza sobre la placa norteamericana, sin ninguna proximidad a alguna otra. El tipo de material en la zona es de origen sedimentario principalmente, esto quiere decir que las rocas predominantes en la zona se formaron a través de los años por depósitos de material que fue compactándose con la presión del material dando como resultado un material que podría ser considerado en un primer instante como competente para ser usado en las terracerías.

1.3 Clima

La región donde se ubica el entronque, el clima suele ser cálido húmedo con una temperatura media anual de 22°C.

Es una zona donde predomina la selva caducifolia con lluvias abundantes y escurrimientos considerables. El periodo de estiaje en esta zona del país es menor que en el resto del territorio nacional y gracias a sus pendientes comúnmente pequeñas, el desalojo del agua suele durar más y ser de mayor abundancia que en otras regiones del país.

1.4 Uso de suelo

El uso de suelo en la región es predominantemente de uso agrícola y ganadero. Pero de manera particular, en la región donde encontramos el entronque Casablanca se ubica una mina de materiales que podría traer problemas con los costos en los derechos para la adquisición de los terrenos.

También implica respetar los pasos vehiculares que han establecido los dueños del negocio, aumentando al proyecto un conjunto de pasos a desnivel para permitir los movimientos vehiculares que ya se tenían previamente y que seguramente seguirán usando los propietarios y operadores.

1.5 Vialidades actuales

Las únicas vialidades ya existentes en la zona son la autopista Xalapa – Cardel y los pasos mencionados previamente. Todos estos serán respetados y simplemente se harán ampliaciones sobre la autopista para añadir los nuevos carriles de aceleración y desaceleración, con sus debidos métodos constructivos, que tendrán las rampas del entronque a desnivel.

1.6 Datos del proyecto

En el momento que se justifica la construcción de un entronque, se empieza a definir las características que conceptualmente lo describen, como:

1.6.1 Clasificación de las vías

Según el TDPA la Secretaría de Comunicaciones y Transportes las clasifica en:

E – Para un TDPA de 100 vehículos, este tipo de vialidad se construye normalmente en caminos que simplemente están revestidos con material granular y sirven para conectar tierras de labor o zonas donde no se requiere su uso constante.

D – Para un TDPA de 100 a 500 vehículos; esta clasificación será usada para los pasos a desnivel del proyecto por las velocidades y radios que requerimos. Esto nos especificará un conjunto de restricciones que habrá que tomar en cuenta en el proyecto como se especificará más adelante.

C – Para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.

B – Para un TDPA de 1,500 a 3,000 vehículos, esta clasificación la asignaremos a los diferentes enlaces que darán servicio a los movimientos en el entronque.

A2 – Para un TDPA de 3,000 a 5,000 vehículos.

A4 – Para un TDPA de 5,000 a 20,000 vehículos, siendo esta la clasificación de las dos vialidades que se intersectan.

1.6.2 Anchos de las vialidades principales:

Ambas vialidades tienen una corona de 21 metros, compuesta por:

Acotamientos externos de 2.50 metros, comprendidos entre los hombros de la corona y las orillas de la calzada. Dando un total de 5.00 metros.

Calzada de 7.00 metros, compuesta por dos carriles de circulación de 3.50 metros en cada sentido. Dando un total de 14.00 metros de calzada.

Acotamiento interno de 2.00 metros que divide a los carriles de sentidos opuestos, dentro del cual se aloja una barra de concreto con malla que impide la interacción en ambos sentidos o el deslumbramiento que ocasionan las luces en la noche.

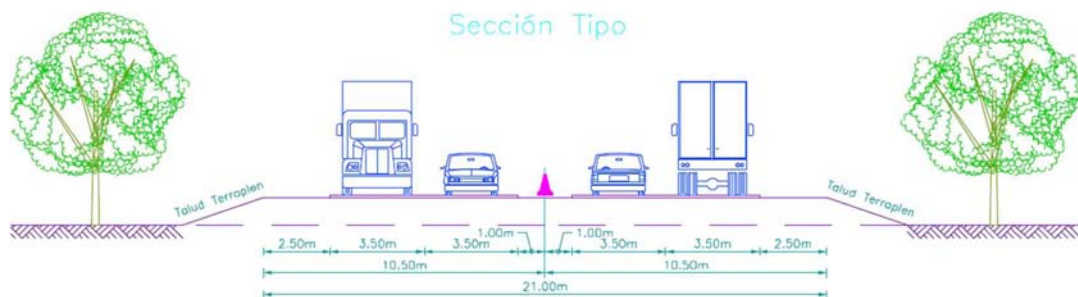


Imagen 2 Sección Tipo

1.6.3 Velocidades de proyecto:

La velocidad que lleva cada enlace es independiente de la velocidad a la cual se permite transitar en las vialidades principales, es por ello que varían en ocasiones significativamente. Para este proyecto las velocidades serán restringidas por el tipo de vialidad que caracteriza a los enlaces, pasos y troncales de la siguiente manera:

Para los caminos tipo D, la velocidad será de 30 a 70 km/h.

Para los caminos tipo B, la velocidad será de 50 a 110 km/h.

Para los caminos tipo A4, la velocidad será de 70 a 110 km/h.

Quedando a consideraciones futuras la velocidad exacta que se usará para proyectar.

1.6.4 Tipo de terreno:

El terreno se puede clasificar como:

Plano: En este terreno no encontramos perturbaciones topográficas, la topografía está definida por un conjunto de curvas de nivel significativamente separadas. El terreno es como su nombre lo indica, plano.

Lomerío: En este terreno si podemos percibir que los niveles varían de una forma poco apreciable, las pendientes de las secciones de terreno natural no superan los 25 grados.

Montañoso: Este terreno queda definido por los cambios abruptos de elevaciones en el terreno, en las secciones podemos apreciar que las pendientes exceden los 25 grados. Por la cercanía con el río “Los Pescados” y la pendiente de la actual carretera, podemos suponer que será el tipo de terreno que predominará en nuestro entronque. Aun así habrá que corroborar esto con la topografía más adelante.

1.6.5 Sobreelevación máxima:

En México a diferencia de otros países como EEUU, donde se puede usar una sobreelevación mayor o menor de 10 por ciento, aquí siempre se usa al menos en vialidades rurales una sobreelevación máxima del 10 por ciento. Esto es debido a que en nuestro país las condiciones climatológicas no son tan extremas como para requerir menor sobreelevación y en algunos casos porque no tenemos los suficientes estudios o al menos no se ha justificado una sobreelevación diferente.

(American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001)

Design Speed (km/h)	Metric				
	Maximum e (%)	Limiting Values of f	Total (e/100 + f)	Calculated Radius (m)	Rounded Radius (m)
20	4.0	0.18	0.22	14.3	15
30	4.0	0.17	0.21	33.7	35
40	4.0	0.17	0.21	60.0	60
50	4.0	0.16	0.20	98.4	100
60	4.0	0.15	0.19	149.1	150
70	4.0	0.14	0.18	214.2	215
80	4.0	0.14	0.18	279.8	280
90	4.0	0.13	0.17	375.0	375
100	4.0	0.12	0.16	491.9	490
20	6.0	0.18	0.24	13.1	15
30	6.0	0.17	0.23	30.8	30
40	6.0	0.17	0.23	54.7	55
50	6.0	0.16	0.22	89.4	90
60	6.0	0.15	0.21	134.9	135
70	6.0	0.14	0.20	192.8	195
80	6.0	0.14	0.20	251.8	250
90	6.0	0.13	0.19	335.5	335
100	6.0	0.12	0.18	437.2	435
110	6.0	0.11	0.17	560.2	560
120	6.0	0.09	0.15	755.5	755
130	6.0	0.08	0.14	950.0	950
20	8.0	0.18	0.28	12.1	10
30	8.0	0.17	0.25	28.3	30
40	8.0	0.17	0.25	50.4	50
50	8.0	0.16	0.24	82.0	80
60	8.0	0.15	0.23	123.2	125
70	8.0	0.14	0.22	175.3	175
80	8.0	0.14	0.22	228.9	230
90	8.0	0.13	0.21	303.6	305
100	8.0	0.12	0.20	393.5	395
110	8.0	0.11	0.19	501.2	500
120	8.0	0.09	0.17	666.6	665
130	8.0	0.08	0.18	831.3	830
20	10.0	0.18	0.28	11.2	10
30	10.0	0.17	0.27	26.2	25
40	10.0	0.17	0.27	46.6	45
50	10.0	0.16	0.26	75.7	75
60	10.0	0.15	0.25	113.3	115
70	10.0	0.14	0.24	160.7	160
80	10.0	0.14	0.24	209.9	210
90	10.0	0.13	0.23	277.2	275
100	10.0	0.12	0.22	357.7	360
110	10.0	0.11	0.21	453.5	455
120	10.0	0.09	0.19	596.5	595
130	10.0	0.08	0.18	738.9	740
20	12.0	0.18	0.30	10.5	10
30	12.0	0.17	0.29	24.4	25
40	12.0	0.17	0.29	43.4	45
50	12.0	0.16	0.28	70.3	70
60	12.0	0.15	0.27	104.9	105
70	12.0	0.14	0.26	148.3	150
80	12.0	0.14	0.26	193.7	195
90	12.0	0.13	0.25	255.0	255
100	12.0	0.12	0.24	327.9	330
110	12.0	0.11	0.23	414.0	415
120	12.0	0.09	0.21	539.7	540
130	12.0	0.08	0.20	665.0	665

Imagen 3 Sobreelevaciones Máximas en EEUU

En ocasiones es recomendable considerar una sobreelevación máxima de 6 por ciento, por ejemplo en zonas urbanas donde la velocidad es menor que las zonas

rurales y no hay necesidad de incrementar tanto la sobreelevación, esto mismo prevé accidentes al no inducir a las personas a incrementar su velocidad.

1.6.6 Grado de curvatura máxima

Los grados de curvatura máxima será otra característica que quedará definida por la velocidad que se tenga en cada troncal, enlace o paso, quedando establecida hasta el momento que se defina la velocidad de cada uno.

De ninguna manera se deberá superar el grado de curvatura máximo ya que la sobreelevación está calculada como máximo para dicho grado de curvatura y de no ser así se provocarían accidentes por deslizamiento o volcamiento en la curva para los vehículos más pesados o con centros de gravedad altos.

1.6.7 Bombeo:

El bombeo que se usa en México excepto para caminos tipo E, es de 2 por ciento. Esto es simplemente para desalojar el agua de la corona lo más rápido posible evitando que esta pendiente transversal afecte la conducción de los vehículos causando incomodidad o desviaciones.

2 Anteproyecto

Antes de comenzar con el proyecto de cualquier vialidad siempre es necesario contemplar posibles alternativas que cumplan con las condiciones iniciales y que den solución al problema de forma diferente, para después hacer una comparación de las ventajas y desventajas de cada una y optar por la mejor.

Las alternativas también nos presentan perspectivas distintas del entronque y nos ayudan a contemplar fenómenos que no veríamos si no fuera por este análisis.

2.1 Origen - Destino

Los análisis de origen destino nos brindan una idea aproximada de los volúmenes que circularán por las vialidades y las rutas que tomarán para llegar a donde se dirigen, pero también en casos como este se desea dar servicio a una parte de los vehículos y excluir al resto por diferentes condiciones.

Para este caso se brindará servicio a los usuarios que:

Vienen de Xalapa con dirección a Córdoba o el puerto

Vienen de Cardel con dirección al puerto o Córdoba

Y estas mismas rutas en sentido contrario.

Es por esto que nuestro entronque solo contará con cuatro enlaces que darán acceso a estos movimientos. Los demás movimientos no se consideran ya que no es justificable para los usuarios tomar la nueva autopista para ir a Poza Rica.

2.2 Obras existentes

En muchas ocasiones es recomendable observar las obras que se tienen en las cercanías, ya que suelen generar restricciones en el tipo de entronque que se desea hacer como en las curvas de los enlaces, las longitudes de los mismos, el tipo de terracerías a considerar, estructuras, etc. es por ello que antes de comenzar a proponer se dé un vistazo a las construcciones actuales y de qué índole son, ya que en ocasiones podemos removerlas o en ocasiones no. De ser posible se debe considerar en los precios de la adquisición de la vía y si es o no justificable.

Para nuestra fortuna en este caso solo tenemos el banco de préstamo que debemos contemplar, pero siendo un hecho su adquisición por la necesidad de este para el camino abierto, no es necesario preocuparse de más por este, con lo que tenemos la libertad de proponer un entronque, sin olvidar que nuestra propuesta debe ser económicamente viable y que no estaría de más evitar la invasión en la medida de lo posible.

En ocasiones el anteproyecto es un simple croquis que se presenta como propuesta, pero no queda de más pensar en ciertos aspectos como radios, velocidades, pendientes, etc. antes de presentar la propuesta, ya que de lo contrario puede que se vuelvan un problema a la hora de proyectar ya que hay ciertas medidas que siempre deben respetarse y muchas veces no son contempladas en los croquis que se hacen.

3 Proyecto

Es el resultado de diversos estudios en los que se han considerado todos los casos previstos y se han establecido normas para la realización de la obra y para resolver aquellos otros casos que puedan presentarse como imprevistos. Dando como resultado un conjunto de planos, notas, recomendaciones, cálculos, etc. que de seguirlos de forma adecuada conducirán a la conclusión de una obra eficiente.

3.1 Velocidad

La velocidad es una de las primeras características a definir en una carretera, ya que en muchos casos se ve como símbolo del nivel de aceptación que tendrá ante los usuarios, o bien del nivel de servicio.

No hay que olvidar de igual forma que la velocidad que estipulemos para una vialidad condicionará de manera importante esta misma ya que es el factor de medición para muchas otras características de las carreteras. Como las pendientes, radios, sobreelevaciones, curvas, etc...

La velocidad en las troncales será la máxima permisible que hay, 110 km/h, dado que si no es ya la velocidad actual, no tendrá que ser modificado el entronque en el momento que la vialidad así lo requiera.

Para los pasos como es de suponerse la velocidad será mucho menor y dado que la clasificación de la carretera nos establece un rango, optaremos por el menor, 30 km/h, ya que los vehículos de no trabajar en condición de parada, si trabajarán a velocidades bastante bajas.

Para los enlaces tenemos un amplio espacio donde usar radios grandes que permitan circularlos a velocidades altas, una mayor visibilidad y cambios de pendientes suaves por lo que optaremos por velocidades de 60 km/h para evitar la necesidad de reducir o incrementar demasiado la velocidad a la hora de salir o entrar a la troncal.

3.2 Trazo

El trazo es el conjunto de tangentes, círculos y espirales que unidos colinealmente generan un dibujo que guía a los vehículos que circularán por él desde su origen a su destino de manera armónica, sin distorsiones que hagan incomodo el desplazarse sobre ella.

3.2.1 Tangentes

Son proyecciones en un plano horizontal de rectas que comienzan en un punto denominado inicial (PINI), que unen curvas y que finalizan en la intersección con otra recta, punto de intersección (PI), o en un destino, punto final (PFIN).

Las tangentes están definidas por su azimut, la longitud de donde termina una curva y comienza una nueva y la deflexión que tiene con la tangente anterior en el PI.

Los azimuts son ángulos medidos del norte hacia la derecha comprendiendo ángulos desde 0 hasta 360 grados, a partir de este ángulo se comienza a medir desde 0 de nuevo.

A cualquier punto preciso sobre una tangente se le denomina punto sobre tangente (PST) y queda caracterizado a diferencia de los demás por la estación en la que se encuentra.

La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad, las tangentes largas suelen causar accidentes ya que generan somnolencia en los conductores, principalmente en la noche, al no haber necesidad de alguna respuesta o decisión del chofer mientras su vista se concentra en puntos fijos durante mucho tiempo.

La longitud mínima que se recomienda en las curvas es la necesaria para hacer la transición de sobreelevación y ampliación entre la curva que lo precede y la que se encuentra al final de la tangente.

Es recomendable permitir una distancia mayor a la mínima ya que es difícil que los usuarios de la vialidad conserven su carril cuando se encuentran constantemente en curvas inversas, lo que suele provocar accidentes.

De igual forma las tangentes largas en muchos casos son injustificables ya que suelen generar un conjunto de cortes y terraplenes altos que para nada son económicos en su construcción y que muchas veces pueden ser evitados con facilidad, es preferible seguir la curvatura natural del terreno evitando en la medida de lo posible los movimientos de tierras importantes, sin olvidar la velocidad y objetivos del proyecto.

3.2.2 Curvas

3.2.2.1 Circulares

Son el conjunto de curvas formadas por arcos de circunferencia y se usan para unir dos tangentes que tienen diferente azimut, quedando limitadas por el punto de tangencia con la recta, espiral o arco anterior y el punto de tangencia con la recta, espiral o arco posterior.

Las curvas circulares también se pueden dividir en simples o compuestas, esto dependiendo de si al finalizar o iniciar son seguidas o precedidas por igualmente arcos de circunferencia.

Las curvas compuestas son precedidas por algún arco de circunferencia y/o seguidas igualmente por otro arco. No es recomendable el uso de curvas compuestas inversas, esto significa que tengan su curvatura hacia lados opuestos,

en camino abierto ya que suelen provocar que los usuarios invadan los carriles adyacentes, haciendo peligrosa la maniobra. Es preferible colocar una tangente larga entre estas dos curvas para evitar accidentes.

En camino abierto es preferible usar curvas compuestas solo cuando la relación entre el radio mayor y el radio menor sea igual o menor de 1.5.

De igual forma es preferible evitar un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección o con tangentes cortas entre ellas, es preferible dejar tangentes cortas de 500 metros o más entre ellas.

Las curvas simples son precedidas y seguidas por simples tangentes. Este tipo de curvas es más recomendable en camino abierto ya que permiten los cambios de dirección directos sin mayor complicación.

Los radios de curvas permisibles quedarán comprometidos por la velocidad a la cual se desee que los vehículos circulen sobre estas.

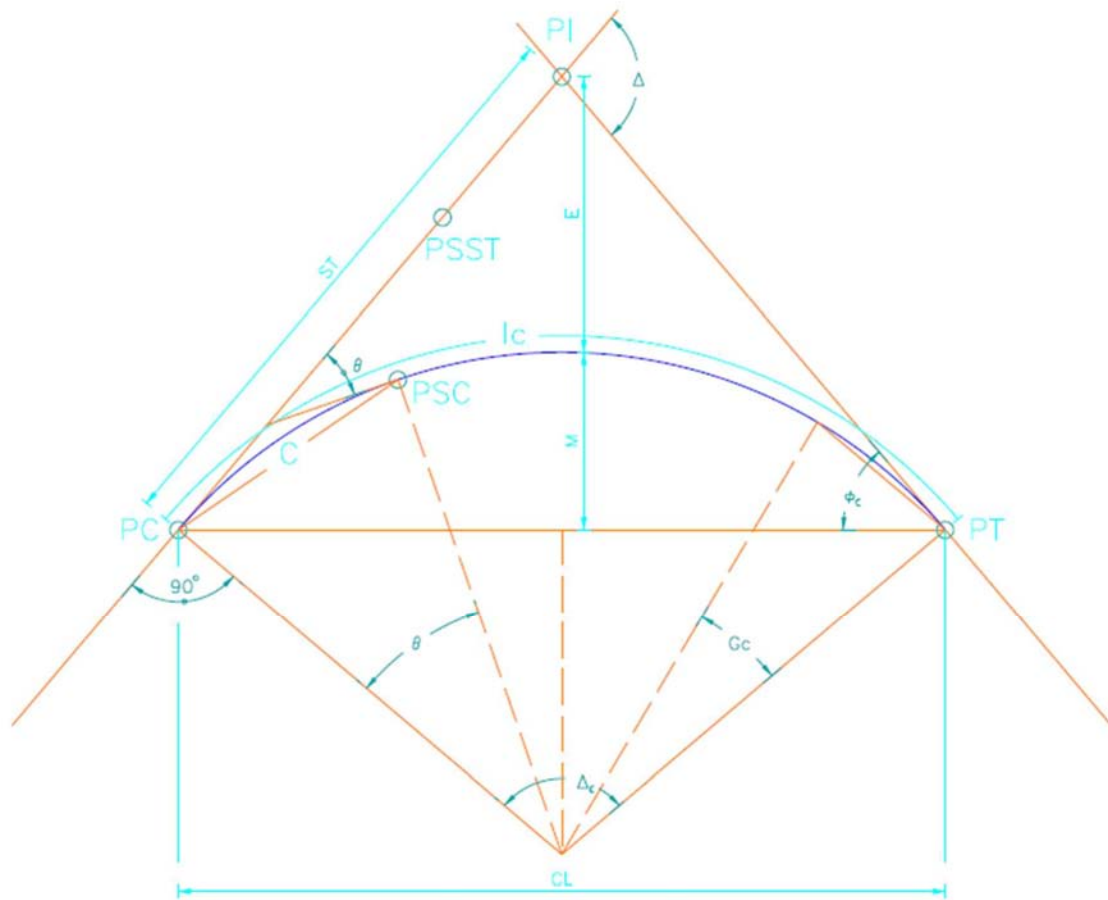


Imagen 4 Elementos de una Curva Circular

- a) Grado de curvatura (G_c): Es el ángulo que resulta al trazar un arco de 20 metros de longitud.

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c}$$

- b) Radio de la curva (R_c): Es la distancia que existe entre todos los puntos de la circunferencia y otro denominado centro.

$$R_c = \frac{3600}{\pi G_c}$$

- c) Ángulo central (Δ_c): Es el ángulo subtendido por la curva circular. En el caso de las curvas circulares es igual ángulo de deflexión.

- d) Longitud de curva (l_c): Es la distancia del punto de comienzo de la curva (PC), al punto de término de la curva (PT).

$$\frac{l_c}{2\pi R_c} = \frac{\Delta c}{360^\circ}$$

- e) Subtangente (ST): Es la distancia entre el PC o el PT al PI medida sobre la prolongación de las tangentes.

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta c}{2}$$

- f) Externa (E): Es la distancia más corta entre el PI y la curva.

$$E = R_c \sec \frac{\Delta c}{2} - R_c$$

- g) Ordenada media (M): Es la distancia mayor entre la curva circular y la cuerda mayor.

$$M = R_c - R_c \cos \frac{\Delta c}{2}$$

- h) Deflexión de un punto cualquiera (θ): Es el ángulo subtendido por el arco que se localiza entre el PC y dicho punto.

$$\frac{\theta}{l} = \frac{G_c}{20}$$

- i) Cuerda larga (CL): Es la recta que une de forma directa el PC y el PT.

$$CL = 2R_c \sin \frac{\Delta c}{2}$$

- j) Ángulo de la cuerda (φ_c): Es el ángulo que forma la prolongación de la tangente de entrada o salida y la cuerda considerada.

$$\varphi = \frac{\theta}{2}$$

- k) Punto sobre circunferencia (PSC): Es un punto cualquiera sobre la curva circular.

- l) Punto sobre subtangente (PSST): Punto cualquiera ubicado en una de las dos subtangentes.

Las curvas compuestas como hemos visto antes no son muy recomendables y se ha preferido no usarlas para el proyecto.

3.2.2.2 De Transición

Para los cambios de dirección que debe hacer un vehículo de una tangente a una curva se requiere en condiciones hacerlo poco a poco, es por esto que cuando es necesario entre una tangente y una curva circular se proyecta una curva de transición, esta curva de transición permite hacer cambios de dirección de manera gradual, esto es variando su radio desde el infinito hasta el radio de la curva circular a unir.

Es para esto que usamos la espiral de Euler que tiene la propiedad de que cuando el parámetro K aumenta o disminuye la curvatura y/o la longitud igual lo hacen.

$$K^2 = Rl$$

A pesar de que existen otras curvas que pueden servir para el mismo fin como la parábola cúbica, la lemniscata de Bernoulli, etc. no serán consideradas ya que no siempre se pueden usar.

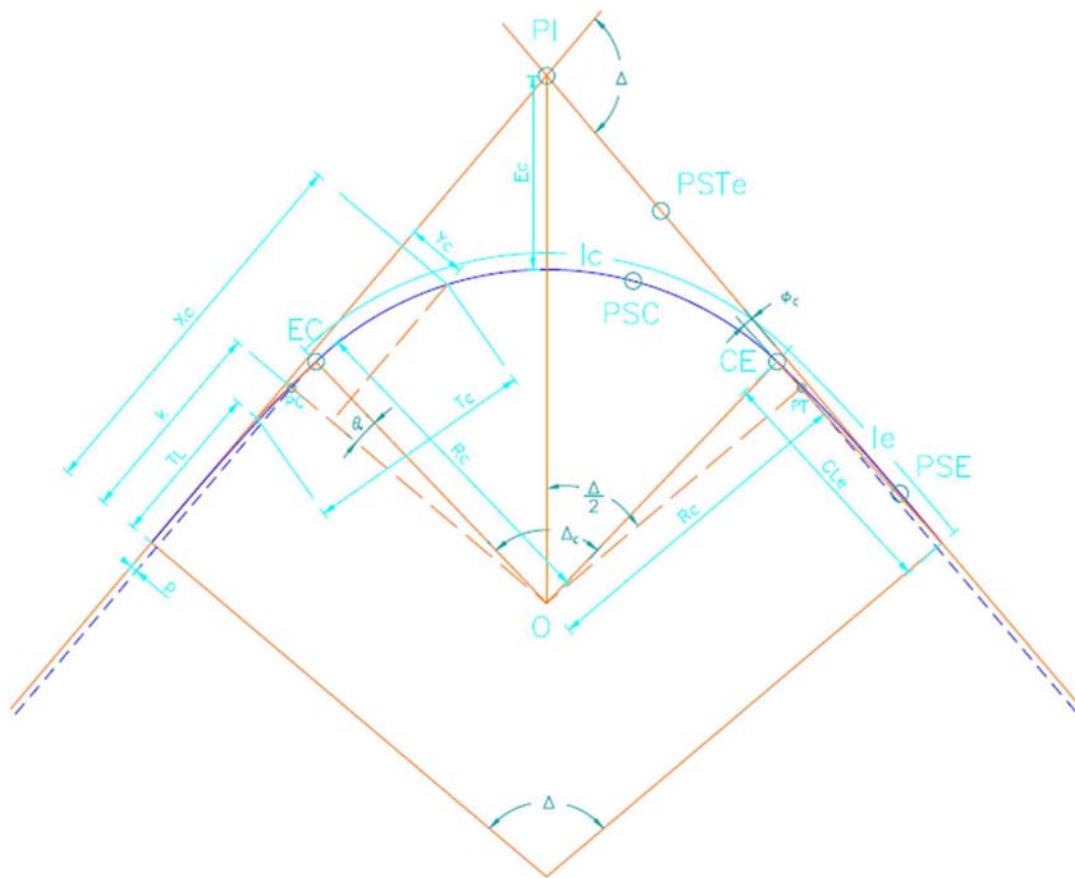


Imagen 5 Curva Circular con Espirales

- a) Longitud de espiral (l_e): Es la longitud medida sobre la curva espiral desde el TE al EC o del CE al ET.
- b) Deflexión de la espiral (θ_e): Es el ángulo que forma las tangentes a la espiral en sus puntos extremos.

$$\theta_e = \frac{l_e^2}{2R_c l_e}$$

- c) Coordenadas del EC: Son muy importantes estas coordenadas, ya que como veremos en la matematización nos indicarán la localización de nuestros puntos.

$$X_c = l_e \left(1 - \frac{\theta_e^2}{10}\right)$$

$$Y_c = le \left(\frac{\theta e}{3} + \frac{\theta e^3}{42} \right)$$

d) Coordenadas del PC de la curva circular:

$$p = Y_c - R_c \operatorname{sen} \theta e$$

$$k = X_c - R_c \operatorname{sen} \theta e$$

e) Longitud de la curva: Es la longitud total obtenida de la suma de las curvas de transición más la curva circular.

$$L = 2le + lc$$

f) Curda larga (CLe): Es la curda que une los puntos donde comienza y termina la espiral.

$$CLe = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2}$$

g) Ángulo de la cuerda larga (φ_c): Es el ángulo comprendido entre la prolongación de las tangentes y la cuerda larga.

$$\varphi_c = \frac{\theta e}{3} - Z$$

$$Z = 3.1 \times 10^{-3} \theta e^3 + 2.3 \times 10^{-8} \theta e^5$$

h) Tangente larga (TL): Es el tramo de subtangente entre el comienzo de la espiral hasta donde termina esta misma.

$$TL = X_c - Y_c \cot \theta e$$

i) Tangente corta (TC): Es el tramo comprendido entre el comienzo de la curva circular hasta la intersección de la tangente de la curva circular con la de la espiral.

$$TC = Y_c \operatorname{csc} \theta e$$

j) Punto sobre espiral (PSE): Es un punto cualquiera ubicado en la espiral de transición.

k) Espiral-espiral (EE): Es el punto donde dos espirales se unen en los casos que no existe alguna tangente o curva entre ellos.

l) Espiral-curva (EC o CE): Es el punto donde se une una espiral con la curva circular.

m) Espiral-tangente (ET o TE): Es el punto donde se une una espiral con la tangente.

Todos estos datos en la actualidad se obtienen gracias a programas que podemos usar en nuestras computadoras, por lo que no es necesario hacer el cálculo de cada uno de estos a mano y deducir las fórmulas que tenemos. Simplemente se muestran como una breve descripción de lo que significa cada valor.

3.3 Matemización

Son el conjunto de cálculos que se hace al trazo por medio del cual se pueden calcular puntos que en su momento permitirán plantearlo en el campo, a través de este método se calculan:

Las coordenadas de cada una de los puntos característicos del trazo como los PC, PT, PI, EC, etc. para que puedan ser localizados fácilmente en el campo y/o dibujados en gabinete.

El azimut de las tangentes, para que sean trazados en campo y no difieran de lo analizado previamente por el ingeniero que trazó el proyecto. Es muy importante respetar los azimut de las tangentes ya que cualquier pequeña variación a lo largo de kilómetros puede afectar de manera importante la obra.

La longitud de las tangentes, curvas circulares o de transición.

Radio de entrada, para las clotoides o curvas de transición el valor representativo es cero ya que su primer radio es el de la tangente, infinito. En caso de ser la clotoide de salida, el caso es el siguiente.

Radio de salida, es en el caso de las curvas de transición el radio de la curva circular que las precede. En caso de ser la clotoide de salida el caso es el anterior.

Ángulo de deflexión de las tangentes, que serán unidas por curvas circulares y/o espirales.

Constante, tangente corta, tangente larga, cuerda larga de la espiral, X_c , Y_c , P , k , ordenada media y externa que son características ya mencionadas en las propiedades de las curvas.

Azimut de las tangentes de entrada a una curva y salida, estos ángulos deben coincidir al girar un ángulo delta la tangente de entrada. O sea que el azimut de la tangente de entrada más delta debe ser igual al azimut de la tangente de salida.

Azimut de los radios, son los ángulos de las tangentes que van al centro de las curvas medidos desde los PC, PT, EC, CE, EE, ET y TE. Pueden ser calculados como los azimuts de las tangentes más 90 grados, ya que son perpendiculares entre sí.

De igual manera se marcan las estaciones a cada 20 metros y se indican los PI, PC, etc. marcando su ubicación y el cadenamiento exacto de su localización sobre el eje.

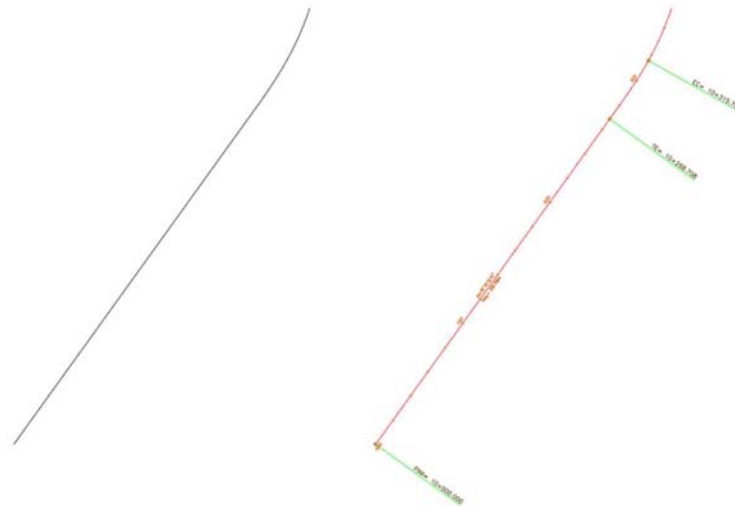


Imagen 6 Eje Trazado (Izq.) vs Eje Matematizado (Der.)


```

Project Name: Ent Casablanca
Description: Xalapa - Cordoba
Horizontal Alignment Name: Eje 10
Description: Ent Casablanca

```

	STATION	EASTING	NORTHING
Element: Linear			
PINI ()	10+000.000	769003.7753	2140969.3836
TE ()	10+268.708	769160.8025	2141187.4347
Tangent Direction:	35°45'32.91"		
Tangent Length:	268.708		
Element: Clothoid			
TE ()	10+268.708	769160.8025	2141187.4347
EPI ()	10+300.063	769179.1257	2141212.8788
EC ()	10+315.708	769186.7735	2141226.5745
Entrance Radius:	0.000		
Exit Radius:	204.628		
Length:	47.000		
Angle:	06°34'48.00"	Left	
Constant:	98.069		
Long Tangent:	31.355		
Short Tangent:	15.686		
Long Chord:	46.972		
Xs:	46.938		
Ys:	1.798		
P:	0.450		
K:	23.490		
Tangent Direction:	35°45'32.91"		
Radial Direction:	125°45'32.91"		
Chord Direction:	33°33'57.82"		
Radial Direction:	119°10'44.91"		
Tangent Direction:	29°10'44.91"		

Imagen 7 Ejemplo de un Reporte de Matematización (Tramo del Eje 10)

3.4 Geometría

La geometría de una vialidad se refiere a los anchos de corona que pueden ir variando en cada sección como respuesta a diversos factores como:

El TDPA que principalmente nos indicará el número de carriles que habrá que contemplar para darle servicio a todos los vehículos que lo requieran.

El nivel de servicio que servirá para medir el nivel de confort del usuario, para un nivel de servicio bajo podemos contemplar que pocos carriles pueden dar servicio a un número importante de vehículos y que ampliaciones pequeñas en las curvas son suficientes por las bajas velocidades que se usarán, o viceversa.

La seguridad de los usuarios que de manera importante puede condicionar el ancho de los acotamientos externos para poder pararse con el mínimo riesgo posible, en casos de vehículos descompuestos, o de los acotamientos internos o fajas

separadoras para evitar el deslumbramiento de los vehículos que circulan en sentido contrario, o impedir que invadan los carriles contrarios.

La localización del trazo que nos permite en ciertas zonas urbanas reducir el ancho de los carriles debido a la baja velocidad a la que se transita y la mínima cantidad de vehículos grandes que circulan en estas áreas.

O simplemente la restricción de espacio que tenemos para la construcción de la vialidad, ya que en muchos casos es imposible adquirir mayor área para nuestra obra.

3.4.1 Calzada y acotamientos

El ancho de una sección transversal está conformada por los acotamientos y la calzada, el ancho de cada uno de estos determinará el ancho total de la corona, es por eso que debemos analizar ambos elementos.

A pesar de las grandes recomendaciones que se han dado y los estudios que han comprobado que los anchos de carril de 3.65 metros o mayores son los más seguros y los que brindan un mejor nivel de servicio, en México ya sea por facilidad de uso o economía se han y se siguen utilizando anchos de 3.50 metros por carril. Por lo que cumpliendo con esta tradición y contemplando las dificultades que impone el uso de carriles más anchos estableceremos este ancho como preferente para nuestra obra al igual que en el camino abierto.

Afortunadamente para los caminos en entronques tenemos un conjunto de condiciones que nos establecen el ancho de carril que debemos utilizar como mínimo en cada enlace. Este mínimo toma en cuenta condiciones como rebase a vehículos estacionados, desplazamiento huellas, radios de giro, velocidad, etc.

Para establecer este ancho primero debemos establecer las condiciones de tránsito.

Caso de Operación	Condiciones de Tránsito		
	A	B	C

Caso I	DE-335	DE-610	DE-1220
Caso II	DE-335 - DE-335	DE-335 - DE-610	DE-610 - DE-610
Caso III	DE-335 - DE-610	DE-610 - DE-610	DE-1220 - DE-1525

Las condiciones de tránsito nos permiten indicar el tipo de vehículos que en su mayoría darán uso a nuestro entronque. Esto no quiere decir que no circularán otro tipo de vehículos, simplemente que el diseño se hará tomando en cuenta el tipo que predomine y los vehículos mayores deberán tener una mayor habilidad para circular por estos puntos a una menor velocidad de operación y libertad de maniobra.

Condición de tránsito A: Los vehículos en su mayoría serán los denominados DE-335 con algunos camiones DE-610.

Condiciones de tránsito B: Los vehículos en su mayoría serán DE-610 con la existencia de algunos semirremolques.

Condiciones de tránsito C: Circularán suficientes vehículos DE-1220 y DE-1525 como para gobernar el proyecto.

Estos términos son muy generales debido a que por lo general no se cuenta con estos datos al inicio del proyecto, pero sirven como una guía si sabemos la localización de nuestra obra y quizá un poco el tipo de trabajos, servicios o mercancía que se ofrecen en la zona.

Para el caso de que se tenga que rebasar a vehículos orillados por daños, se elaboró la siguiente tabla que muestra las peores condiciones para rebase.

Caso de Operación	Condiciones de Tránsito		
	A	B	C

Caso I	DE-1220	DE-1220	DE-1525
Caso II	DE-335 - DE-610	DE-335 - DE-1220	DE-610 - DE-1525
Caso III	DE-610 - DE-1220	DE-1220 - DE-1220	DE-1525 - DE-1525

Así por ejemplo para el caso II y condiciones de tránsito C, un vehículo DE-1525 orillado puede ser rebasado por un DE-610, o viceversa.

Los casos de operación nos muestran los sentidos en que se circulará y las restricciones de los enlaces.

Caso I: Operación en un solo sentido con un solo carril y sin permitir el rebase.

Caso II: Operación en un solo sentido con un solo carril pero permitiendo que se rebase a vehículos parados en las orillas.

Caso III: Operación en dos carriles y flujo en uno o dos sentidos.

Una vez estipulada la condición de tránsito y el caso, visualizamos el radio de giro de la orilla interior de nuestra calzada y con ello el ancho al que debemos ajustar nuestro diseño.

Si el radio de la orilla interna se encuentra entre dos valores, debemos considerar el que respecte al ancho de calzada mayor.

Radios de la orilla interna de la calzada (m)	Ancho de calzada en metros.								
	CASO I			CASO II			CASO III		
	Condición de tránsito								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15.00	5.50	5.50	7.00	7.00	7.50	8.75	9.50	10.75	12.75
23.00	5.00	5.25	5.75	6.50	7.00	8.25	8.75	10.00	11.25
31.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	7.50	8.50	9.50	10.75
46.00	4.25	5.00	5.25	5.75	6.50	7.25	8.25	9.25	10.00
61.00	4.00	5.00	5.00	5.75	6.50	7.00	8.25	8.75	9.50
91.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	9.25
122.00	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
152.00	3.75	4.50	4.50	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
Tangente	3.75	4.50	4.50	5.25	5.75	6.50	7.50	8.25	8.25

También existen un conjunto de restricciones que debemos tomar en cuenta para esta tabla, ya que hasta el momento no se ha tomado en cuenta ni la guarnición ni los acotamientos.

Modificaciones al ancho de acuerdo con el tratamiento de las orillas de la calzada.			
	CASO I	CASO II	CASO III
Guarnición achaflanada	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Guarnición vertical un lado.	Aumentar 0.30 m	Ninguna	Aumentar 0.30 m
Guarnición vertical dos lados.	Aumentar 0.60 m	Aumentar 0.30 m	Aumentar 0.60 m
Acotamiento, en uno o en ambos lados.	Ninguna	Restar el ancho del acotamiento; Ancho mínimo de la calzada el del Caso I	Cuando el acotamiento sea de 1.20 m o mayor, reducir 0.60 m

Así para cada caso debemos considerar si proyectaremos una o dos guarniciones y el tipo de guarniciones, también consideraremos si tenemos o no acotamientos y sus dimensiones.

Una vez contemplados todos estos elementos obtenemos nuestro ancho de calzada para el enlace o rampa en estudio.

Los acotamientos son un espacio de seguridad porque prestan un área mayor para maniobras, mejor visibilidad y área para estacionar vehículos parados. En estudios realizados en los EEUU se ha observado que los accidentes reducen al considerar anchos de acotamientos mayores y con superficie de rodamiento, es por esto que nuestras vialidades deben poseer acotamientos con superficie pavimentada para brindar una mayor seguridad al usuario. Los acotamientos que usaremos serán de 2.50 metros para el lado externo y 1.00 metros para el lado interno de la vialidad en todos los enlaces y en las vialidades principales.

3.4.2 Ampliaciones

Otro aspecto importante en el camino abierto son las ampliaciones de calzada en las curvas, estas ampliaciones se requieren debido al desplazamiento que tienen las huellas de los vehículos al girar. Esto quiere decir que en el momento en el que un vehículo realiza una vuelta, las llantas delanteras no pasan exactamente por donde las llantas traseras lo harán, sino que las traseras circularán más próximas al centro de la curva que las delanteras. Es por eso que para impedir la invasión de

los carriles adyacentes en las curvas debemos considerar un ancho mayor en estas condiciones y su respectiva transición.

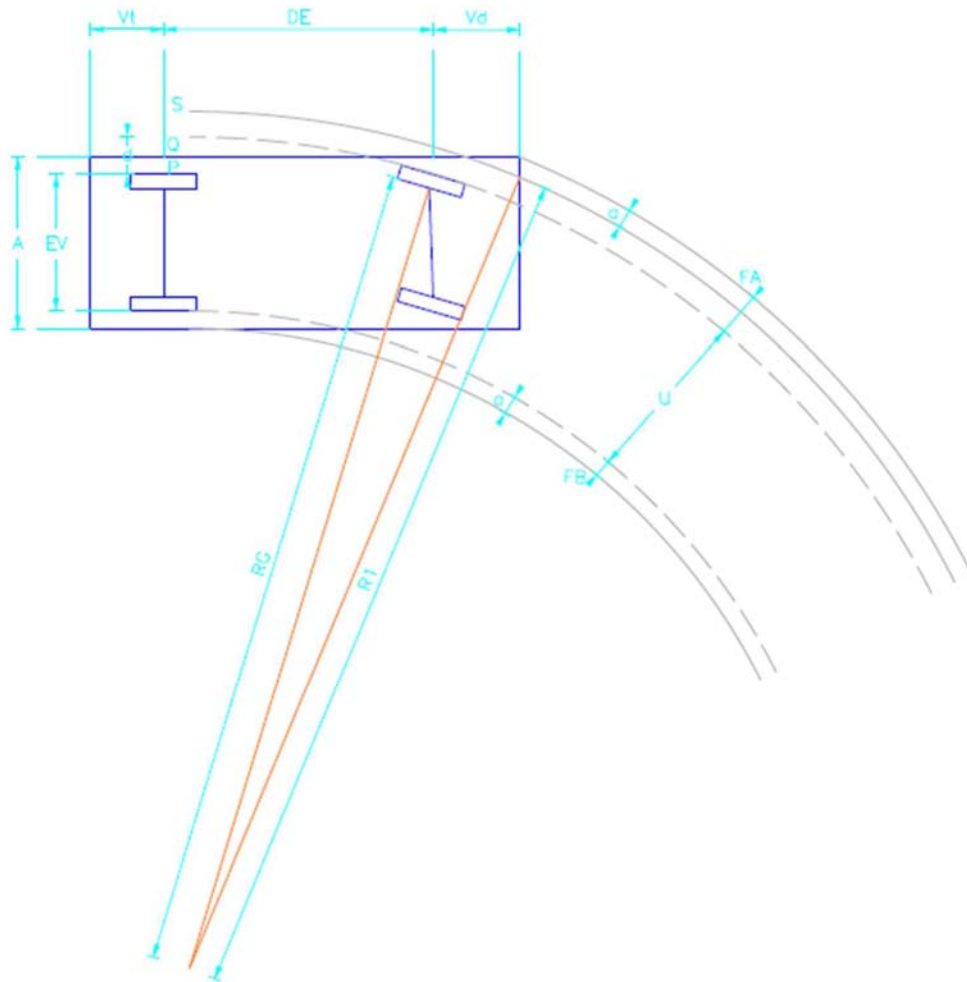


Imagen 8 Ancho de Vehículo en Curva

Para este cálculo se considera el ancho total de vehículo (A), la distancia de entre ejes (EV), el vuelo trasero (Vt), el vuelo delantero (Vd), la distancia más alejada de los ejes (DE). Muy parecido al análisis que indican las normas AASHTO.

El cálculo que desprende de esta simulación de un vehículo dando vuelta ofrece valores aproximados para vehículos no articulados de desplazamiento máximo de

las huellas, es por esto que los desplazamientos se obtienen con modelos a escala o modelos gráficos en la computadora.

Para nuestro proyecto y como establecen las normas, se usan las ampliaciones indicadas en las Normas de Servicios Técnicos de 1984 para proyectos geométricos en carreteras. Páginas 37 a 40.

Carretera Tipo "A4"					
Vel (km/h)	70	80	90	100	110
Rc	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
	Ac-70	Ac-80	Ac-90	Ac-100	Ac-110
4583.66	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30
2291.83	0.30	0.30	0.40	0.40	0.50
1527.89	0.40	0.40	0.50	0.60	0.60
1145.92	0.50	0.50	0.60	0.70	0.70
916.73	0.50	0.60	0.60	0.70	0.80
763.94	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90
654.81	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
572.96	0.70	0.80	0.90	0.90	1.00
509.30	0.80	0.90	1.00	1.00	1.10
458.37	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
416.70	0.80	0.90	1.10	1.10	1.20
381.97	0.90	1.00	1.10	1.20	
352.59	0.90	1.10	1.20	1.30	
327.40	1.00	1.10	1.20		
305.58	1.10	1.20	1.30		
286.48	1.10	1.20	1.30		
269.63	1.10	1.30	1.40		
254.65	1.20	1.30			
241.25	1.20	1.40			
229.18	1.30	1.40			
218.27	1.30	1.40			
208.35	1.40	1.50			
199.29	1.40				
190.99	1.50				
183.35	1.50				
176.29	1.60				
169.77	1.60				
163.70	1.60				
158.06	1.60				
152.79	1.70				

Imagen 9 Ampliaciones de Curva para Caminos Tipo A4

Las ampliaciones deberán ser proyectadas del lado interno de la curva y distribuidas exactamente entre la cantidad de carriles que tengan, así las marcas en el pavimento deberán obedecer en estas zonas no al trazo, sino a la geometría de los carriles a lo largo de la curva.

Estas ampliaciones deberán ser aplicadas a lo largo de la curva y se integrarán a la calzada a lo largo de una transición. Las transiciones se harán de forma gradual y como se establece en la misma normatividad de donde se obtuvieron las ampliaciones, a lo largo de la longitud de transición.

La longitud de transición se puede obtener de igual forma de las mismas tablas y obedece a la forma de efectuar el cambio de la pendiente transversal, con comodidad y sin apariencias bruscas. Este tema se desarrollará más a fondo cuando se trate la sobreelevación.

La ampliación comenzará a una distancia igual a la mitad de la longitud de transición antes de llegar al PC y se completará al finalizar esta longitud, longitud de transición, lo que es igual a la distancia del PC más la mitad de la longitud de transición. De igual forma se restará esta ampliación desde antes de llegar al PT hasta una distancia equivalente a el PT más la mitad de la longitud de transición, donde los anchos de calzada volverán a ser los iniciales. Todo esto de forma lineal.

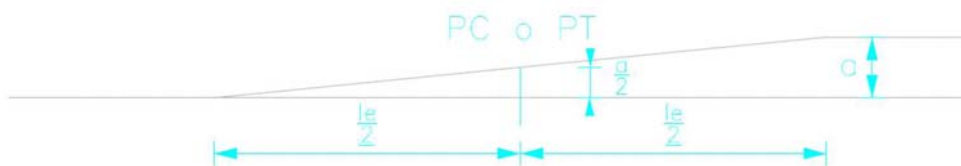


Imagen 10 Transición de la Ampliación

3.4.3 Carriles de cambio de velocidad

En ocasiones cuando tenemos intersección entre dos vialidades, los vehículos deben tomar enlaces para poder cambiar de dirección, muchas veces estos enlaces están diseñados para menores velocidades ya que de no ser así se necesitarían entronques demasiado grandes para cumplir con los radios de curvas para altas velocidades. Es por esto que los vehículo al entrar y salir de estos enlaces deben modificar su velocidad; en los casos en que se entra a un enlace se debe reducir la velocidad para no perder el control del vehículo en las curvas de radios pequeños que suelen tener, y en los casos en que se sale de un enlace se debe aumentar la

velocidad para no interferir con el flujo de la vialidad principal y poder incorporarse al tráfico sin ocasionar modificaciones en las velocidades de los vehículos posteriores.

Es por esto que en las entradas y salidas de estos enlaces o rampas se deben diseñar carriles con longitud suficiente para que permitan variar la velocidad fuera del flujo sin interferir en la corriente principal ni arriesgarse a sufrir daños.

Transición:

La transición de los carriles de cambio de velocidad es esa parte que permite la entrada a los carriles de desaceleración o la salida de los carriles de aceleración de una forma gradual. Siendo el ancho que se va añadiendo a la calzada desde cero hasta el ancho del nuevo carril de cambio de velocidad, este cambio se estipulo para un cierto tiempo, es por ello que solo depende de la velocidad del camino principal.

En ocasiones el carril de cambio de velocidad no necesariamente es paralelo a la vialidad principal, para este caso se recomiendan deflexiones no mayores a 4 grados, esto permite la desincorporación o incorporación a la vía principal de forma armónica sin interferir en ninguno de los flujos vehiculares.

Ancho del carril:

El ancho del carril al igual que las recomendaciones para camino abierto, se sugiere que sea de 3.65 metros, no siendo así, se usa el ancho de un carril, 3.50 metros.

Longitud del carril de cambio de velocidad:

Esta longitud es medida para los casos en que el carril de cambio de velocidad se forma con una deflexión no mayor a 4 grados, desde el punto donde el ancho del carril es de 1.50 metros hasta el llegar a una curva donde ya se requiera la modificación en la velocidad. Para los casos en que el carril de cambio de velocidad sea paralelo, se medirá la longitud desde el inicio de la transición hasta la nariz que se forme con las dos vialidades.

Para la normatividad mexicana esta longitud considera tres factores importantes; la velocidad de entrada que se refiere a la velocidad de proyecto con la que entramos al carril de cambio de velocidad; la velocidad de salida, que es la velocidad con la que salimos del carril de cambio de velocidad y la forma de acelerar o desacelerar.

Así que una vez conocidas la velocidad de entrada, la velocidad de salida y la pendiente podemos conocer la longitud de transición y la distancia total del carril de cambio de velocidad en la siguiente tabla. Recordemos que la longitud total ya contempla la longitud de transición.

CARRILES DE ACELERACIÓN									
Velocidad de proyecto en el enlace (km/h)		Condición de parada	25	30	40	50	60	70	80
Radio mínimo de curva (m)			15	24	45	75	113	154	209
50	45	170	45	-	-	-	-	-	-
60	54	110	85	75	-	-	-	-	-
70	61	160	135	125	100	-	-	-	-
80	69	230	125	190	170	125	-	-	-
90	77	315	300	285	255	205	160	-	-
100	84	405	395	380	350	295	240	160	-
110	90	470	465	455	425	375	325	260	180

Longitud total de carril de ACELERACIÓN, incluyendo la transición (m)									
Velocidad de proyecto de la carretera (km/h)	Longitud de la transición (m)								
50	45	170	45	-	-	-	-	-	-
60	54	110	85	75	-	-	-	-	-
70	61	160	135	125	100	-	-	-	-
80	69	230	125	190	170	125	-	-	-
90	77	315	300	285	255	205	160	-	-
100	84	405	395	380	350	295	240	160	-
110	90	470	465	455	425	375	325	260	180

CARRILES DE DESACELERACIÓN									
Velocidad de proyecto en el enlace (km/h)		Condición de parada	25	30	40	50	60	70	80
Radio mínimo de curva (m)			15	24	45	75	113	154	209
50	45	170	45	-	-	-	-	-	-
60	54	110	85	75	-	-	-	-	-
70	61	160	135	125	100	-	-	-	-
80	69	230	125	190	170	125	-	-	-
90	77	315	300	285	255	205	160	-	-
100	84	405	395	380	350	295	240	160	-
110	90	470	465	455	425	375	325	260	180

Longitud total de carril de DESACELERACIÓN, incluyendo la transición (m)									
Velocidad de proyecto de la carretera (km/h)	Longitud de la transición (m)								
50	45	170	45	-	-	-	-	-	-
60	54	110	85	75	-	-	-	-	-
70	61	160	135	125	100	-	-	-	-
80	69	230	125	190	170	125	-	-	-
90	77	315	300	285	255	205	160	-	-
100	84	405	395	380	350	295	240	160	-
110	90	470	465	455	425	375	325	260	180

Estos valores fueron obtenidos suponiendo condiciones de la carretera sin pendiente, por lo que deben ser afectados en caso de que exista pendiente ya que no es lo mismo que un vehículo acelere con una pendiente favorable a que lo haga

con una pendiente contraria, evidentemente los carriles pueden ser menores para el primer caso. Es por esto que una vez obtenido el valor de la tabla anterior para cada caso de cambio de velocidad, se debe afectar por lo valores de la siguiente tabla para carriles de aceleración.

Factores de ajuste para carriles de aceleración								
proyecto de la carretera,	Relación de la longitud en pendiente a la longitud a nivel para velocidad de proyecto en el enlace, km/h.							
	25	30	40	50	60	70	80	Para todas las velocidades.
	En pendiente ascendente del 3 al 4%							En pendiente descendente del 3% al 4%
50	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7
60	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	0.7
70	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	0.7
80	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	0.7
90	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	0.6
100	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6	0.6
110	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	0.6
	En pendiente ascendente del 5 al 6%							En pendiente descendente del 5 al 6%
50	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	0.6
60	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	0.6
70	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	0.6
80	1.5	1.5	1.6	1.7	1.9	2	2.1	0.6
90	1.5	1.6	1.7	1.9	2	2.2	2.4	0.5
100	1.7	1.7	1.9	2	2.2	2.4	2.6	0.5
110	1.9	1.9	2	2.2	2.4	2.6	2.9	0.5

Evidentemente vemos como las longitudes de los carriles de aceleración incrementan desde un 30 hasta un casi 300 por ciento su longitud en casos de pendiente desfavorable. De igual forma decrece su longitud hasta la mitad en casos de pendientes favorables.

Para los carriles de desaceleración también tenemos afectaciones por las pendientes, y se pueden ver en la siguiente tabla:

Factores de ajuste para los carriles de desaceleración	
Velocidad de proyecto de la carretera, km/h	Relación de la longitud en pendiente a la longitud a nivel para:
Todas	En pendiente ascendente del 3 al 4%
	0.9
Todas	En pendiente descendente del 3 al 4%
	1.2
Todas	En pendiente ascendente del 5 al 6%
	0.8
Todas	En pendiente descendente del 5 al 6%
	1.35

Las variaciones en estos casos no son tan significativas como para los carriles de aceleración pero de igual manera representan varios metros al final de cuentas.

La distancia "e" que es el desplazamiento de la nariz respecto al enlace debe ser de 0.50 a 1.00 metros, pero si la importancia del enlace es mayor o el camino se divide, esto quiere decir que de dos carriles se separe uno en cada dirección, entonces el desplazamiento debe ser por lo menos la mitad del ancho de un carril.

La reincorporación de los anchos de calzada originales se hará de una forma gradual en una distancia "Z" para el lado de la vía principal y de forma tangencial para el lado del enlace. Esta distancia "Z" considera que el conductor que regrese a su carril después de haber corregido su rumbo, requiere un segundo por cada metro de desplazamiento lateral para regresar a su carril.

Es por esto que conociendo el desplazamiento "d" y la velocidad de proyecto podemos determinar el valor de la incógnita "Z" con la tabla siguiente.

VELOCIDAD DEL PROYECTO DEL CAMINO DIRECTO km/h	VELOCIDAD DE MARCHA km/h	FACTOR QUE MULTIPLICADO POR "d" NOS DARA LA LONGITUD "Z" EN METROS
50	46	6
60	55	8
70	63	9
80	71	10
90	79	11
100	86	12
110	92	13

Por último se deberá redondear el extremo de la nariz, esto bastará con un arco de radio de 0.50 a 1.00 metros que sea tangente a los dos hombros, el del camino principal y el del enlace.

En el caso de las convergencias no suele haber este tipo de análisis, principalmente porque la geometría no incita al conductor a cambiar de carril de forma errónea, por esto en la mayoría de los casos no suele tratarse de una forma especial a esta parte de la geometría, pero es recomendable, de igual forma que en las divergencias, redondear la nariz pero con un radio de 0.25 a 0.50 metros, más pequeño que para las divergencias por su menor importancia.

3.5 Sobreelevación

La sobreelevación en un camino se refiere al cambio de pendiente transversal, respecto al eje del camino, por la cual los vehículos empiezan a inclinarse para evitar que la resultante de las fuerzas los obligue a rotar o deslizarse por la corona, de tal forma que permita a los vehículos circular por las curvas a velocidades considerables sin consecuencias. Por lo que para cada velocidad corresponde un radio de curva y una sobreelevación, en cuanto vaya reduciendo el radio la sobreelevación deberá ir creciendo para compensarla hasta llegar a la sobreelevación máxima, esta nos indicará el radio mínimo que no podrá ser menor mientras la velocidad del proyecto no reduzca de igual manera. Esta velocidad solo podrá variar en los rangos de 30 a 110 km/h en las carreteras federales.

En México las sobreelevaciones que se usan para el diseño de carreteras son las especificadas en las Normas de Servicios Técnicos que fueron calculadas con el método cinco de la AASHTO pero considerando la sobreelevación máxima de nuestro país, los coeficientes de fricción lateral de las mismas normas, y en general los datos avalados por la SCT.

Carreteras Tipo "C"														
Rc	40		50		60		70		80		90		100	
	Sc	Le	Sc	Le	Sc	Le	Sc	Le	Sc	Le	Sc	Le	Sc	Le
	Sc-40	Le-40	Sc-50	Le-50	Sc-60	Le-60	Sc-70	Le-70	Sc-80	Le-80	Sc-90	Le-90	Sc-100	Le-100
4583.662	2.00%	22	2.00%	28	2.00%	34	2.00%	39	2.00%	45	2.00%	50	2.00%	56
2291.831	2.00%	22	2.00%	28	2.00%	34	2.00%	39	2.00%	45	2.00%	50	2.00%	56
1527.887	2.00%	22	2.00%	28	2.00%	34	2.00%	39	2.40%	45	2.80%	50	3.50%	56
1145.916	2.00%	22	2.00%	28	2.00%	34	2.50%	39	3.00%	45	3.60%	50	4.60%	56
916.732	2.00%	22	2.00%	28	2.30%	34	3.00%	39	3.70%	45	4.50%	50	5.60%	56
763.944	2.00%	22	2.00%	28	2.80%	34	3.60%	39	4.40%	45	5.30%	50	6.50%	56
654.809	2.00%	22	2.20%	28	3.20%	34	4.10%	39	5.00%	45	6.00%	50	7.30%	58
572.958	2.00%	22	2.50%	28	3.60%	34	4.60%	39	5.70%	45	6.80%	50	8.10%	65
509.296	2.00%	22	2.80%	28	4.00%	34	5.10%	39	6.20%	45	7.40%	53	8.70%	70
458.366	2.10%	22	3.10%	28	4.40%	34	5.50%	39	6.70%	45	7.90%	57	9.30%	74
416.697	2.30%	22	3.40%	28	4.70%	34	6.00%	39	7.20%	46	8.40%	60	9.60%	77
381.972	2.50%	22	3.70%	28	5.10%	34	6.40%	39	7.70%	49	8.80%	63	9.90%	79
352.589	2.70%	22	3.90%	28	5.40%	34	6.80%	39	8.10%	52	9.20%	66	10.00%	80
327.404	2.90%	22	4.20%	28	5.70%	39	7.10%	40	8.50%	54	9.60%	69		
305.577	3.10%	22	4.40%	28	6.00%	34	7.50%	42	8.80%	56	9.80%	71		
286.479	3.30%	22	4.70%	28	6.30%	34	7.80%	44	9.10%	58	9.90%	71		
269.627	3.40%	22	4.90%	28	6.60%	34	8.10%	45	9.40%	60	10.00%	72		
254.648	3.60%	22	5.10%	28	6.90%	34	8.40%	47	9.60%	61				
241.245	3.80%	22	5.40%	28	7.10%	34	8.70%	49	9.80%	63				
229.183	3.90%	22	5.60%	28	7.40%	36	8.90%	50	9.90%	63				
208.348	4.20%	22	6.00%	28	7.80%	37	9.30%	52	10.00%	64				
190.986	4.50%	22	6.30%	28	8.20%	39	9.60%	54						
176.295	4.80%	22	6.70%	28	8.60%	41	9.80%	55						
163.702	5.10%	22	7.00%	28	8.90%	43	9.90%	55						
152.789	5.30%	22	7.30%	29	9.10%	44	10.00%	56						
143.239	5.60%	22	7.60%	30	9.40%	45								
134.814	5.80%	22	7.90%	32	9.60%	46								
127.324	6.10%	22	8.20%	33	9.70%	47								
120.623	6.30%	22	8.40%	34	9.70%	47								
114.592	6.50%	22	8.60%	35	9.90%	48								
104.174	6.90%	22	9.00%	36	10.00%	48								
95.493	7.30%	23	9.30%	37										
88.147	7.60%	24	9.60%	38										
81.851	7.90%	25	9.80%	39										
76.394	8.20%	26	9.90%	40										
71.620	8.50%	27	10.00%	40										
67.407	8.70%	28	10.00%	40										
63.662	8.90%	28												
60.311	9.10%	29												
57.296	9.20%	29												
54.567	9.40%	30												
52.087	9.50%	30												
49.822	9.60%	31												
47.746	9.70%	31												
45.837	9.80%	31												
44.074	9.90%	32												
42.441	9.90%	32												
40.926	10.00%	32												
39.514	10.00%	32												
38.197	10.00%	32												

Imagen 12 Tabla de las Normas de Servicios Técnicos (Sobreelevaciones y Longitudes de Curva)

Las sobreelevaciones al igual que las ampliaciones deberán ser aplicadas de forma gradual sobre la corona de la carretera, esto significa que la vialidad pasará de su bombeo natural, de 2 por ciento, a la sobreelevación calculada en una longitud denominada longitud de transición. Esta longitud obedece principalmente a la buena apariencia y a la comodidad del usuario, para hacer este cambio de pendiente tratando que el usuario perciba lo menos posible la transición.

Esta transición ocurre una parte en la tangente que colinda con la curva y el resto como es de esperarse en la curva de la siguiente manera:

Se considera una longitud igual al cincuenta por ciento de esta distancia para cada caso, transición en tangente y transición en curva, es aceptable y no tiene consecuencias sobre el efecto de la curva en los vehículos. Aun así se permite que una mayor parte de esta transición se realice sobre la curva, mientras una tercera parte de la curva aún conserve la sobreelevación calculada para la curva y velocidad especificadas. Esto es útil cuando existen dos curvas inversas próximas y no se alcanza a desarrollar la transición de ambas en la tangente intermedia, se puede reducir esta distancia de transición en la tangente, introduciendo la transición a la curva, sin olvidar la restricción de la tercera parte de la curva. O para evitar la transición en puentes para simplificar el trabajo de las estructuras.

Una vez establecida la proporción de la curva que será afectada por la transición se obtienen los cadenamamientos donde se verá afectada la curva con la sobreelevación calculada (Sección E), a partir de estos puntos se dará media longitud de transición hacia la tangente para cambiar de la sobreelevación calculada a la mitad de la sobreelevación (Sección D) y después en la otra mitad de la transición se pasará de la mitad de la sobreelevación a la pendiente transversal cero (Sección B). Estando este último punto a una distancia "N" de la sección con sobreelevación igual al bombeo "b", 2 por ciento (Secciones A y C).

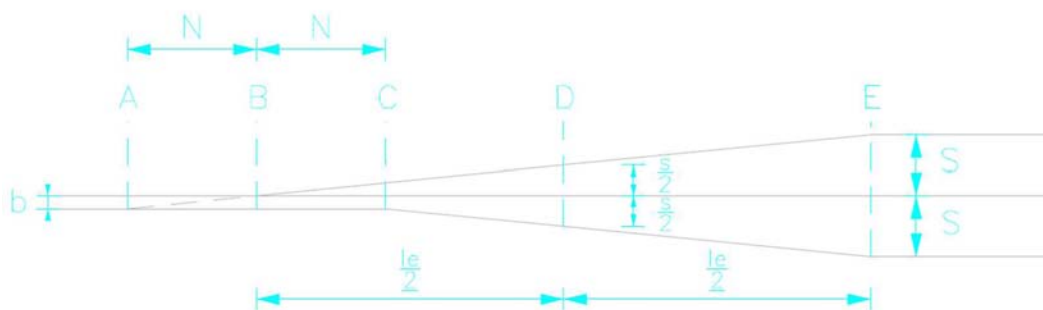


Imagen 13 Transición de Sobreelevación

La distancia “N” puede ser calculada con una simple interpolación lineal.

$$N = \left(\frac{b}{Sc}\right) le$$

Así establecemos las sobreelevaciones para cada una de las troncales y los enlaces. En estos enlaces, en ocasiones no se tiene la longitud necesaria para desarrollar la transición hasta llegar al bombeo, es por esto que estos tramos se proyectan como ampliaciones de la troncal, donde se hace la transición de sobreelevación en una ampliación de la troncal que correspondería al carril de cambio de velocidad hasta llegar a ligar perfectamente, en cuanto a sobreelevación y geometría, donde comienza o termina el enlace.

3.6 Levantamiento topográfico

En el momento en que se ha aprobado nuestro trazo con su respectiva geometría, se manda la matematización a los topógrafos para comenzar a hacer el levantamiento topográfico, este levantamiento tiene por objeto darnos datos reales de las irregularidades del terreno en el que se construirá nuestro proyecto para con estos datos definir las secciones transversales y obtener los volúmenes necesarios para llevar a cabo la obra.

A través de estos levantamientos obtenemos:

3.6.1 Registro de coordenadas

El registro de coordenadas nos informa de cómo fue levantada la poligonal abierta, indicándonos los azimuts y las coordenadas que para ser exactos deben de corresponder con las matematizadas en gabinete, también se corrobora que cierre la poligonal o de lo contrario se hace una corrección trigonométrica que nos indica las nuevas coordenadas exactas.

Observaciones: En este apartado es muy importante que el topógrafo indique cualquier anomalía que encuentre en su levantamiento como puede ser presencia de muros, cercas, torres, cables, ríos, etc. para tenerlos contemplados en el proyecto.

Croquis: En la última sección se dibuja un croquis del trazo con los elementos antes señalados para una mejor visualización del levantamiento y de las condiciones del sitio, en caso de indicar escurrimientos, ríos o semejantes es apropiado indicar la dirección del flujo.

ESTACION		PUNTO	DEFLEXION	DATOS CURVA	TANGENTE LIBRE	AZAC	OBSERVACIONES	CROQUIS
0+780.000				PI= 0+802.984				
0+760.000				$\Delta T = 25^{\circ}36'02''$ DER. $\Delta C = 14^{\circ}51'02''$ $Gc = 02^{\circ}30'00''$				
0+741.704		EC		ST=147.281 MTS. LC=118.805 MTS.				
0+740.000				RC=458.366 MTS.				
0+720.000				Le=86.000MTS. $\theta_e = 05^{\circ}22'30''$ Xc=85.924 Yc=2.688				
0+700.000								
0+680.000								
0+660.000								
0+655.704		TE						
0+640.000								
0+620.000								
0+600.000								
0+580.000								
0+560.000								

3.6.3 Registro de nivel

A lo largo del trazo se van obteniendo elevaciones a cada 20 metros (cada estación), cada que el desnivel sea mayor a 50 centímetros o en general cada evento de relevancia. Esto es lo que encontramos en este registro.

Estación: Donde encontraremos como en todos los registros la estación que se describe, pero en estos registros también encontramos los bancos de nivel denominados BN 11-1, por dar un ejemplo, y los puntos de liga (PL) que son usados cuando la siguiente estación no puede ser visualizada desde la estación en que nos encontramos.

(+): Son las lecturas positivas que se hacen con el nivel.

$\bar{\kappa}$: Es la elevación del aparato de medición, normalmente se comienza con un banco de nivel o mojoneras y se va avanzando conforme el trazo.

(-): Son las lecturas negativas que se hacen con el nivel.

Lectura intermedia: Son las lecturas que se hacen de cada estación que estamos analizando desde el aparato.

Elevación: Es la elevación de cada sección obtenida con la elevación del aparato menos la lectura intermedia.

Observaciones: En este apartado los topógrafos indican características de los bancos de nivel tomados en cuenta o las correcciones que hicieron al nivelar cuando se corroboran las elevaciones haciendo un recorrido de vuelta sobre puntos de liga.



SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
Y OBRAS PÚBLICAS
DEL ESTADO DE VERACRUZ



REGISTRO DE NIVEL

CAMINO:		CORDOBA - XALAPA		DE KM		A KM	
TRAMO:		ENT. CASABLANCA - ENT. LA TINAJA		NIVEL:			
SUBTRAMO:		ENT. CASABLANCA		FECHA:			
ORIGEN:		ENT. CASABLANCA		TIEMPO:			
ESTACION	(+)		(-)	LECTURA INTERMEDIA	ELEVACION	OBSERVACIONES	
BN 11-1	0.759	96.348			95.589	BN 11-1	EN CLAVO SI/LOSA DE CONCRETO
P.L.	0.892	96.832	0.408		95.940	A 17.68 MTS LADO DER. DE EST. 10+091.80	
10+000.000				0.32	96.51	ELEV. PROM.= 95.589 mts.	
10+020.000				0.53	96.30		
10+040.000				0.78	96.05		
10+060.000				1.02	95.81		
10+080.000				1.27	95.56		
10+100.000				1.62	95.21		
P.L.	0.451	94.827	2.456		94.376		
10+120.000				0.11	94.72		
10+140.000				0.76	94.07		
10+160.000				1.62	93.21		
10+180.000				2.68	92.15		
10+200.000				3.82	91.01		
P.L.	0.253	90.498	4.582		90.245		
10+220.000				0.65	89.85		
10+240.000				1.79	88.71	COMPROBACION ARITMETICA	
10+254.345				2.63	87.87	DE LA NIVELACION	
10+260.000				2.95	87.55	SUMA (+)	2.481
10+280.000				4.16	86.34	SUMA(-)	15.846
P.L.	0.126	85.672	4.952		85.546	DIFERENCIA	13.365
10+300.000				0.50	85.17	DEL CHECK	
10+320.000				1.65	84.02	SUMA (+)	14.219
10+340.000				2.74	82.93	SUMA (-)	0.853
BN 11-2			3.448		82.224	DIFERENCIA	13.366
BN 11-2	3.271	85.495			82.224		
P.L.	3.785	89.121	0.159		85.336	BN 11-1	ELEVACION 95.589
P.L.	3.787	92.792	0.116		89.005	DIFERENCIA PROM.	13.365
P.L.	3.376	95.998	0.170		92.622	BN 11-2	ELEVACION 82.224
BN 11-1			0.408		95.590		

3.6.4 Registro de secciones

De este registro se obtienen finalmente las secciones transversales, estas secciones están definidas por un conjunto de puntos característicos del relieve que se encuentran a una distancia y desnivel determinado, como si se tratase de un plano cartesiano donde la estación es el cero.

Es conveniente que los puntos más relevantes como son canales, arroyos, vialidades paralelas, etc. sean denominados así en el renglón superior al punto especificado para contemplarlos en el proyecto y sean respetados, demolidos o

TABLA D-1

ELEMENTOS PARA CURVA MASA				OBRA: AUTOPISTA CORDOBA - XALAPA		TRAMO: ENTRONQUE CASA BLANCA		SUB-TRAMO: MISMO						
KILOMETRO	ESTRATO	No.	ESP. m.	CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA			CLASIFICACION PRESUPUESTO A B C	TERRAPLE		CORTE	OBSERVACIONES	
						95 %	95 %	100		SANDE	ALT.			TALU
EJE 10	1	0.30		MATERIAL ORGANICO	DESPALME	-	-	-		100-00-00				
0+000	0+300	2	0.60	AROLLA DE ALTA PLASTICIDAD (CH), COLOR NEGRO, CON PRESENCIA DE RAICILLAS.	DESPERDICIO	-	-	-		100-00-00				A, C, J
		3	INDEF.	CONGLOMERADO DEBILMENTE CEMENTADO, QUE AL DISGREGADO PRODUCE GRAVAS Y ARENAS GRADUADAS Y FRAGMENTOS MEDIANOS A CHICOS (BOLEOS) DE TAM. MAX. 16", CON FINOS ARCILLOSOS DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR CAFE A CREMA CON TONOS GRISACEOS, HUMEDA.	BANDEADO	-	-	-	1.00	00-100-00		1/4:1		A, B, D, G, H, I
0+300	1+587.22	1	0.30	MATERIAL ORGANICO	DESPALME	-	-	-		100-00-00				
EJE 100	2	0.50		AROLLA DE ALTA PLASTICIDAD (CH), COLOR NEGRO, CON PRESENCIA DE RAICILLAS.	DESPALME	-	-	-		100-00-00				
100+000	100+300	3	INDEF.	CONGLOMERADO DEBIL A MEDIANAMENTE CEMENTADO, QUE AL DISGREGADO PRODUCE GRAVA-ARENA, MAL GRADUADAS, CON FINOS LIMOSOS DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR CAFE A CREMA CON TONOS GRISACEOS, HUMEDA, QUE EMPACA ALGUNOS FRAGMENTOS CHICOS DE ROCA (BOLEOS) DE TAM. MAX 8".	BANDEADO	-	-	-	1.00	00-100-00		1/4:1		A, B, F, G, M
EJE 100	1	0.30		MATERIAL ORGANICO	DESPALME	-	-	-		100-00-00				
100+300	100+600	2	0.40	AROLLA DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR NEGRO (CH), CON PRESENCIA DE RAICILLAS.	DESPERDICIO	-	-	-		100-00-00				A, C, J
		3	INDEF.	CONGLOMERADO DEBIL A MEDIANAMENTE CEMENTADO, QUE AL DISGREGADO PRODUCE ARENAS Y GRAVAS, MAL GRADUADAS, CON FINOS LIMOSOS DE BAJA PLASTICIDAD, COLOR CAFE A CREMA CON TONOS GRISACEOS, HUMEDA.	COMPACTADO	0.98	0.93	0.88		00-100-00		1/4:1		A, B, F, G, M
100+600	100+800	1	0.30	MATERIAL ORGANICO	DESPALME	-	-	-		100-00-00				
		2	0.40	AROLLA DE ALTA PLASTICIDAD, COLOR NEGRO (CH), CON PRESENCIA DE RAICILLAS.	DESPERDICIO	-	-	-		100-00-00				A, B, C, J
		3	INDEF.	CONGLOMERADO DEBIL A MEDIANAMENTE CEMENTADO, QUE AL DISGREGADO PRODUCE ARCILA ARENOSA, DE PLASTICIDAD MEDIA, COLOR CAFE A CREMA CON TONOS GRISACEOS, HUMEDA, CON PRESENCIA DE GRAVAS.	COMPACTADO	0.96	0.91	0.86		00-100-00		1/4:1		A, B, D, G, H, I

Imagen 14 Cuadro de Resumen

Estrato: Nos indica el número de estrato y el espesor de cada uno o la profundidad a la que se encuentran. Para los casos en que el estrato es de suficiente espesor como para no poder ser analizada su profundidad por métodos convencionales se indica que es indefinido.

Clasificación: Se da una pequeña descripción del material indicando su color, su tamaño promedio o dimensiones máximas, su composición, humedad, nivel de aguas freáticas y su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la carta de plasticidad. En esta sección se divide de igual forma el material de despalle y el material que puede ser utilizado.

Tratamiento probable: De cada estrato estudiado, esto puede ser: despalle para la capa orgánica que se encuentra en la parte superior de la muestra y debe ser retirado y dispuesto en la zona que se indique; desperdicio para el material que no

cumple con las especificaciones técnicas solicitadas para el terraplén, subyacente y sub-rasante que de igual forma debe ser retirado y dispuesto en las áreas que se indique para material no competente, normalmente se indica que se deposite en los socavones que dejan los bancos de préstamo de materiales; compactado para el material que se encuentra dentro de las indicaciones que especifica la Secretaría y puede servir para terraplén, subyacente y/o subrasante, y solo requiere de compactación para su uso evitándonos tener que depositarlos en otras zonas y traer material de bancos; disgregado y compactado para los materiales que poseen partículas mayores a 3" pero pueden ser reducidas a un tamaño aceptable para las normas correspondientes usándolos para material de terraplén, subyacente y/o subrasante según se indique; y por último bandeable para el material de tamaño superior a las 3 pulgadas que no puede ser disgregado pero puede ser usado en el cuerpo de terraplén, hay que recordar que este material será acomodado por medios mecánicos para reducir las oquedades que se presentan en la estructura. Cuando el nivel freático del agua está muy próximo a la superficie o la supera, este material reduce la capilaridad evitando que los finos se disuelvan en el agua y se vayan.

Coeficiente de variación volumétrica: Se determina para compactación a noventa, noventa y cinco, y cien por ciento de su peso volumétrico seco (PVS) o en su caso al ser bandeable; se proporciona el coeficiente de variación volumétrica para este caso.

Clasificación para el presupuesto: Es el porcentaje de material tipo A, B o C.

El material tipo A es blando o suelto, que puede ser eficientemente excavado con motoescropa de noventa a ciento diez caballos de potencia sin auxilio de arados o tractores de empuje. Son materiales poco o nada cementados, con partículas de hasta 3 pulgadas que suelen ser suelos agrícolas, limos y arenas.

El material tipo B es el cual por dificultad de extracción solo puede ser removido con tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable de ciento cuarenta a ciento sesenta caballos de potencia, sin el uso de arado o explosivos. Además, se considera como material B las piedras sueltas menores a 3 pulgadas. Suelen ser

rocas muy alteradas, conglomerados medianamente cementados, areniscas blandas y tepetates.

El material tipo C es el que por su dificultad de extracción requiere de explosivos; también se clasifican así las piedras sueltas de una dimensión mayor a 3 pulgadas. Entre estos materiales se encuentran las rocas basálticas, las areniscas y conglomerados fuertemente cementados, calizas, riolitas, granitos y andesitas sanas.

Altura y talud de terraplén: Recomendado para cada estrato en cada uno de los subtramos dados en el estudio.

Altura y talud de corte: Recomendado para cada estrato en cada uno de los subtramos dados en el estudio.

Por último se dan las observaciones particulares recomendadas para el tratamiento de los estratos, estas son una lista de observaciones que van desde la letra "A" hasta la letra "N" y nos dan recomendaciones para el tratamiento de cada material excavado en cuanto a su uso para terraplén, subyacente y/o subrasante dependiendo el caso, el espesor de cada estrato de las terracerías y compactaciones.

De igual forma se nos entrega un cuadro de resumen de los posibles bancos que tengamos en la zona y su localización referenciada al eje de trazo, así como las características del material que podemos obtener de ahí, el posible uso que puede tener y los volúmenes aproximados del material del que se puede disponer.

LOCALIZACION DE BANCO	OBRA: AUTOPISTA CORDOBA - XALAPA TRAMO: ENTRONQUE CASA BLANCA - LA TINAJA SUBTRAMO: DEL KM 0+000 AL KM 66+000	FIGURA F-1
------------------------------	--	----------------------

PRESTAMO DE MATERIAL PARA: **CUERPO DE TERRAPLEN.** DENOMINACION: BANCO "RIO LOS PESCADOS" UBICADO A UNA DISTANCIA DE 100 m.

UBICACION	ESTRATO		CLASIFICACION	TRATAMIENTO PROBABLE	COEFICIENTE DE VARIACION VOLUMETRICA				CLASIFICACION PRESUPUESTO		
	No.	ESPESOR m			90%	95%	100%	aprovechable	A	B	C
KM 0+900 D/DER. A 100 METROS DE DISTANCIA DE LA AUTOPISTA CORDOBA - XALAPA, TRAMO ENTRONQUE CASA BLANCA - LA TINAJA	1	0.10	MATERIAL ORGANICO	DESPALME	-	-	-	-	100	00	00
	2	INDEF. < 8.00 m.	CONCIOMERADO BASALTICO-ANDESITICO DEHILMENTE CEMENTADO QUE AL DISGREGADO PRODUCE GRAVA-ARENA, MAL GRADUADA(GP), CON ESCASOS FINOS LIMOSOS DE NULA PLASTICIDAD, COLOR CAFÉ GRISACEO, QUE EMPACA ALGUNOS FRAGMENTOS MEDIANOS A CHICOS (BOLEOS) DE TAM MAX. 10".	CIBADO Y/O COMPACTADO	0.85	0.90	0.85	-	00	100	00
VOLUMEN APROVECHABLE 400,000 m³.	DIMENSIONES:		LARGO 400.0 ANCHO 200.0 ESPESOR 5.0	OBSERVACIONES: EL BANCO SE ENCUENTRA EN EXPLOTACION COMERCIAL.							



Imagen 15 Banco de Préstamo

3.8 Sub-rasante

Es la proyección del perfil de la carretera sobre un plano vertical a la altura de las terracerías, esta proyección está compuesta por tangentes consecutivas de varias pendientes unidas por curvas verticales.

Las tangentes son rectas caracterizadas por su longitud y pendiente, estos dos criterios están regulados por las normas.

La pendiente es la variación de la altura respecto la distancia horizontal, y las normas las clasifican por pendiente gobernadora, pendiente máxima y pendiente mínima.

La pendiente gobernadora es la pendiente a la cual podemos proyectar una tangente sin límite de longitud para librar un desnivel determinado respetando las

características del tránsito y conservando en la medida de lo posible el menor costo de operación.

La pendiente máxima es la mayor pendiente que se le puede proporcionar a una tangente a lo largo de una longitud determinada para salvar desniveles importantes sin afectar de manera importante las condiciones para los vehículos usuarios.

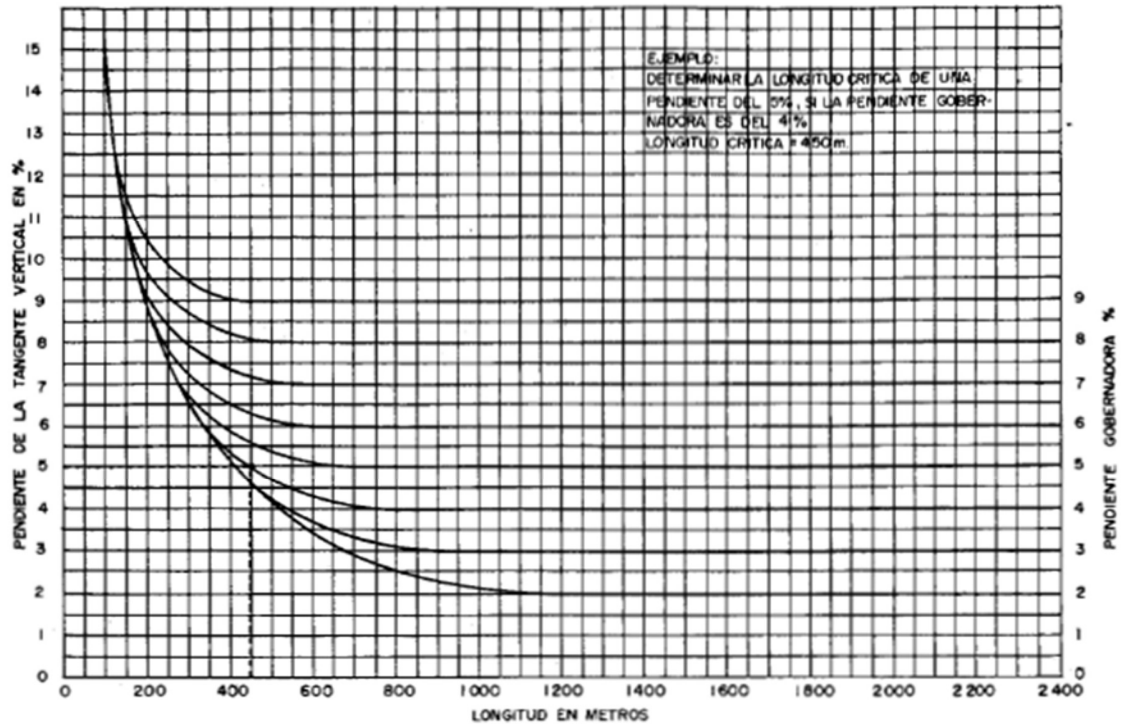
La pendiente mínima es la pendiente que permite al drenaje funcionar de manera correcta a lo largo de la carretera, esta pendiente se recomienda que por lo menos sea del 0.50 por ciento en cortes para propiciar el flujo del agua por las cunetas, pudiendo ser nula para los terraplenes ya que pueden drenar transversalmente al talud del terraplén.

La longitud de una tangente está dada por la distancia que recorre en la horizontal desde el punto donde termina la curva vertical (PTV), hasta el punto donde comienza la siguiente curva vertical (PCV) y también está condicionada para los casos en que pertenece a una pendiente mayor a la gobernadora. Cuando la pendiente es mayor a la pendiente gobernadora, la longitud no debe ser mayor a la denominada longitud crítica. Esta longitud crítica es aquella a la que un camión cargado puede recorrer, con la correspondiente pendiente, sin disminuir su velocidad de un valor dado.

Para estas limitantes podemos observar las Normas de Servicios Técnicos que nos indican las pendientes máximas y gobernadoras para cada tipo de carretera dependiendo la topografía.

Carretera Tipo	Pendiente Gobernadora %			Pendiente Máxima %		
	Tipo de Terreno			Tipo de Terreno		
	Plano	Lomerío	Montañoso	Plano	Lomerío	Montañoso
E	-	7	9	7	10	13
D	-	6	8	6	9	12
C	-	5	6	5	7	8
B	-	4	5	4	6	7
A	-	3	4	4	5	6

La longitud crítica depende de la pendiente gobernadora y la pendiente mayor que se usará, a partir de estos dos valores podemos obtener la longitud crítica en la gráfica de las Normas de Servicios Técnicos.



Las curvas verticales son parábolas de la forma $Y = k X^2$ que unen a las tangentes para hacer los cambios de pendiente de una forma gradual.

Las curvas verticales pueden clasificarse como en columpio o en cresta, las primeras tienen una concavidad hacia arriba y las segundas concavidad hacia abajo y responden a la configuración de las tangentes que van a unir.

Los principales criterios que debe respetar una curva vertical son:

- a) Criterio de comodidad: Se debe considerar este criterio únicamente para las curvas en columpio por la sensación que genera la fuerza centrífuga al entrar a estas curvas, sumada al peso del vehículo.

- b) Criterio de apariencia: Para las curvas en columpio donde el usuario tiene una visibilidad completa de toda la curva para evitar la impresión de un cambio súbito de pendiente.
- c) Criterio de drenaje: Cuando una curva vertical está alojada en corte debe de tener una pendiente suficiente que permita fluir el agua al exterior de la vialidad.
- d) Criterio de seguridad: En todo tipo de curvas verticales se debe respetar la distancia de visibilidad que sea mayor o igual a la de parada. Solo en caso de vialidades de dos carriles con condiciones de rebase, se debe respetar la distancia de visibilidad para efectuar este movimiento.

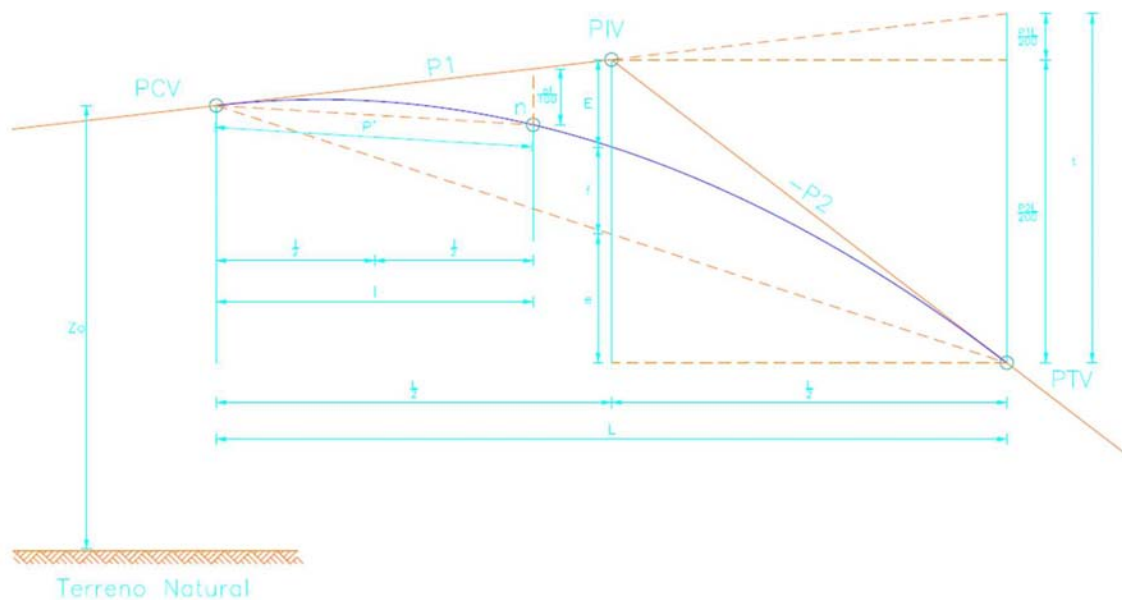


Imagen 16 Elementos de una Curva Vertical

1. Longitud de una curva (L): Es la distancia comprendida entre el PCV y el PTV de una curva vertical proyectada en la horizontal. Esta longitud se determina por medio de la diferencia algebraica de pendientes que multiplica al factor "k", este factor se encuentra en relación a la velocidad en las Normas de Servicios Técnicos y ya considera los criterios antes mencionados.

Velocidad de Proyecto	Valores del Parámetro K (m / %)				Longitud Mínima (m)
	Curva en Cresta		Curva en Columpio		
	Carretera tipo E	Carretera tipo D, C, B, A	Carretera tipo E	Carretera tipo D, C, B, A	
30	4	3	4	20	
40	7	4	7	30	
50	12	8	10	30	
60	23	14	15	40	
70	36	20	20	40	
80	-	31	25	50	
90	-	43	31	50	
100	-	57	37	60	
110	-	72	43	60	

No hay que olvidar que aunque la diferencia que existe entre las pendientes de entrada y salida de la curva sean muy pequeñas, la longitud de la curva nunca debe ser menor a la longitud mínima indicada en esta tabla.

- Pendiente en un punto cualquiera (P): Como bien recordamos la variación de la pendiente sobre la curva es constante, por lo que dependerá de la longitud y las pendientes de entrada y salida.

$$\frac{P1 - P2}{L} = \frac{P1 - P}{l}$$

- Pendiente de la cuerda en un punto cualquiera (P')

$$P' = \frac{P1 + P}{2}$$

- Desviación respecto a la tangente (t): Es la diferencia de elevaciones que existe entre un punto de la curva y la prolongación de la tangente.

$$t = \frac{Al^2}{200L}$$

- Externa (E): Es la distancia entre el PIV y la curva vertical medidas verticalmente.

$$E = \frac{AL}{800}$$

6. Flecha (f): Es la distancia entre el punto que se encuentra a la mitad de la curva y la cuerda que va desde el PCV hasta el PTV medida verticalmente.

$$f = \frac{P2L}{200} - E - e$$

7. Elevación de un punto sobre la curva (Z_n): Es la elevación respecto al nivel del terreno natural o cualquier otro punto que tiene un punto cualquiera de la curva.

$$Z_n = Z_o + \frac{P1l}{100} - t$$

Estas características de las curvas verticales se calculan por medio de programas de computadora, por lo que no es necesario hacer los cálculos a mano hoy en día y solo se presentan las ecuaciones como una explicación de lo que representan.

3.8.1 Consideraciones particulares

Cuando se proyectan sub-rasantes para los entronques hay que tener en cuenta también otras consideraciones que no se pueden ver tan cotidianamente en camino abierto, estas observaciones se efectúan para asegurar que las vialidades cumplan con las distancias verticales necesarias en un proyecto como:

Obras de drenaje:

En la todos los entronques debemos considerar dar salida al agua que pueda llegar al entronque o que quede atrapada entre los enlaces y vías principales del mismo, es por esto que debemos considerar la información del ingeniero en drenaje que nos indica la altura mínima que debemos respetar para que en su momento sean construidas las losas, tubos o cualquier otra obra que asegure la disposición del agua en el sitio adecuado. Estas elevaciones ya deben considerar el espacio para la obra y los colchones que deben proteger a la obra para poder proyectar sobre este nivel sin tener ninguna complicación o interferencia con los espacios respectivos a los materiales de las obras de drenaje.

Puentes:

En todo entronque a desnivel existen puentes para el cruce de las avenidas principales o para algún enlace, estos puentes deben ser considerados en el momento de proponer sub-rasantes por medio de puntos obligados sobre los cuales tenemos que pasar, en caso de proyectar el paso superior, o en caso de proyectar el paso inferior, debemos pasar por debajo de ellos.

Para localizar la altura de estos puntos se elabora una planta denominada la planta de gálidos, en la cual se ubican los puntos extremos de las vialidades donde podemos encontrar las diferencias de alturas menores y a partir de estos puntos calcular la elevación mínima o máxima.

Para determinar esta altura se debe considerar el espesor del pavimento de la troncal y del camino secundario, la carpeta y la losa del puente, el tipo de trabe que se usará que depende del claro a librar y la propuesta del ingeniero en estructuras, el gálibo libre (la altura que servirá para el paso de vehículos), la sobreelevación de las dos vialidades con sus respectivas distancias al eje y también se recomienda considerar los asentamientos que puede sufrir la estructura y que se indican en la memoria de mecánica de suelos que se le brinda al ingeniero en estructuras. Dando como resultado la distancia mínima (gálibo mínimo) que debe existir entre las sub-rasantes del camino principal y el secundario.



**SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
Y OBRAS PUBLICAS
DEL ESTADO DE VERACRUZ**

CALCULO DEL GALIBO 1

OBRA VIAL : Córdoba - Xalapa		ENTRONQUE : Casablanca								
TRAMO : Ent. Casablanca - Ent. Tenenexpan		DEL KM : _____ AL KM : _____								
SUB-TRAMO : Ent. Casablanca		ORIGEN : Xalapa, Ver. PROYECTO : _____								
RAMA	ESTACION	ELEVACION	CORRECCION				RAMA	ESTACION	ELEVACION	ELEVACION SR
21	21+242.850	73.65	3.00	X	6.00%	= 0.18				
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			GALIBO = 7.20							
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			2.50	X	-2.00%	= -0.05				
			6.97				10	10+710.750	66.68	66.63
21	21+244.860	73.70	3.00	X	-6.00%	= -0.18				
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			GALIBO = 7.20							
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			2.50	X	-2.00%	= -0.05				
			7.33				10	10+239.470	66.37	66.32
21	21+236.230	73.98	3.00	X	-0.60%	= -0.18				
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			GALIBO = 7.20							
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			5.50	X	2.00%	= 0.11				
			7.49				10	10+241.870	66.49	66.49
21	21+234.800	73.91	3.00	X	6.00%	= 0.18				
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			GALIBO = 7.20							
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			5.50	X	2.00%	= 0.11				
			7.13				10	10+248.010	66.78	66.75
21	21+241.190	73.85	0.00	X	0.00%	= 0.00				
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			GALIBO = 7.20							
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			0.00	X	0.00%	= 0.00				
			0				10	10+243.440	66.56	66.56
			CALCULO : _____ REVISO : _____ AUTORIZO : _____ FECHA : _____							

Imagen 17 Memoria de Cálculo de Gálidos

En esta memoria podemos observar como obteniendo la elevación propuesta de la sub-rasante del eje 21, se le resta la sobreelevación (distancia por la sobreelevación en el cadenamiento correspondiente) y la altura de gálibo que son todas las consideraciones respectivas a la estructura ya mencionadas para obtener la altura máxima de la rasante inferior. Posteriormente en rojo se anotan las elevaciones de la propuesta final, para revisar que efectivamente estemos respetando las elevaciones máximas.

Ligas:

En el caso de todo tipo de entronques es necesario unir los enlaces con las vialidades principales, es por esto que se hace un cálculo de ligas para asegurar que la corona de ambas vialidades chequen perfectamente y no exista algún tipo de escalón al pasar de una vialidad a otra. Otro problema que puede ocasionar es algún cambio súbito de pendiente ya que entramos a otra vialidad con distintas características de la primera si es que no son contempladas las conexiones graduales que deben existir en estos puntos.

El cálculo de ligas se hace de preferencia cada diez metros pero puede ser a juicio del proyectista, buscando que de menos tengamos tres puntos de liga para visualizar las pendientes de entrada y salida del enlace.

En esta memoria de cálculo podemos observar que una vez obtenidas las elevaciones de la vialidad principal en los puntos que propusimos, se le resta la sobreelevación por la distancia que existe entre los ejes y los puntos de ligas, para obtener una nueva elevación correspondiente a la elevación del eje del enlace. Esta elevación por último se compara con la elevación de la propuesta final de la sub-rasante del enlace y se busca que exista una variación mínima que pueda ser corregida en campo con la sobreelevación.

A pesar de que la sobreelevación de las calzadas debe ser respetada por seguridad de los usuarios, la sobreelevación en el abocinamiento puede ser modificada para manipular los puntos de liga de tal forma que la sub-rasante del enlace sea lo más armónica posible y que no presente cambios bruscos en su desarrollo que puedan ser percibidos por los usuarios. También debe ser modificada la pendiente del abocinamiento siempre que se requiera para respetar la diferencia máxima de sobreelevaciones en los enlaces, ya que de no ser así se pueden generar vértices en la intersección de las coronas desagradables a la vista y que generan una sensación de incertidumbre en la superficie de rodamiento.

Velocidad de Proyecto en los Extremos de los Enlaces	Diferencia algebraica máxima
25 y 30	5 a 8
40 y 50	5 a 6
60 o más	4 a 5

Imagen 20 Diferencias Máximas de Sobreelevaciones en Enlaces

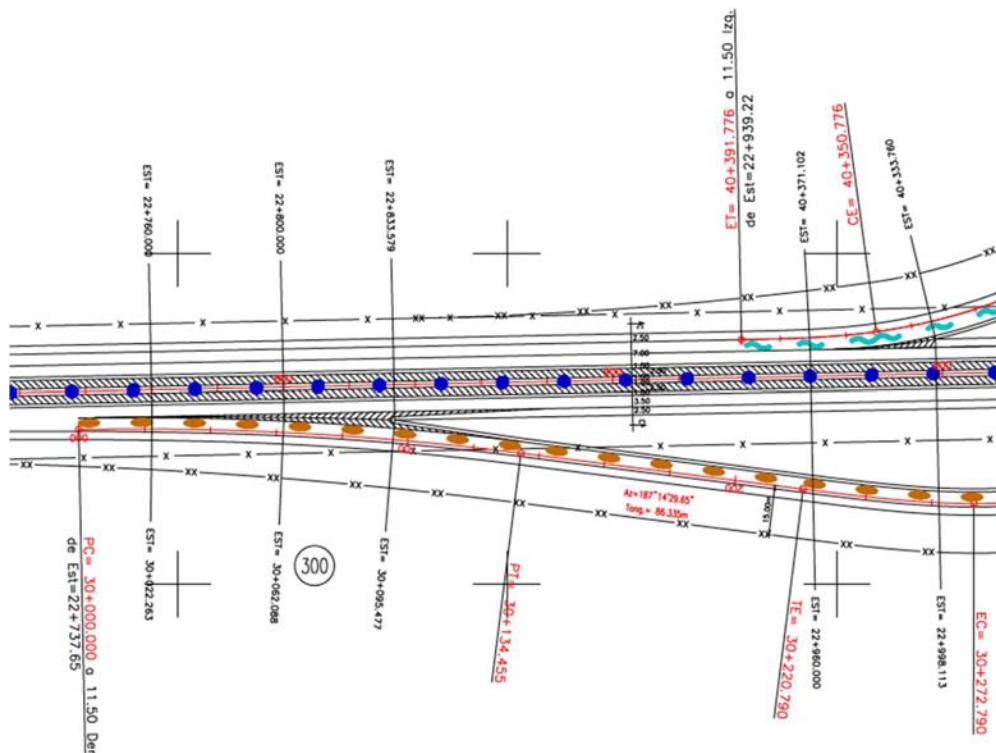


Imagen 21 Ejemplo de Ligas (Cadenamientos color negro) en una Planta Constructiva

Finalmente y una vez calculados todos los puntos anteriores, procedemos a proponer una sub-rasante que aparte de pasar por los puntos obligados deberá respetar la normatividad que se ha presentado en cuanto a longitudes de curvas y pendientes máximas, mínimas y gobernadoras. También es un error frecuente que al finalizar la zona de ligas la sub-rasante haga una especie de cubeta que impida el desalojo del agua si se encuentra en corte, es por esto que debemos procurar localizar puntos donde desalojar el líquido para evitar el mínimo de problemas con el drenaje.

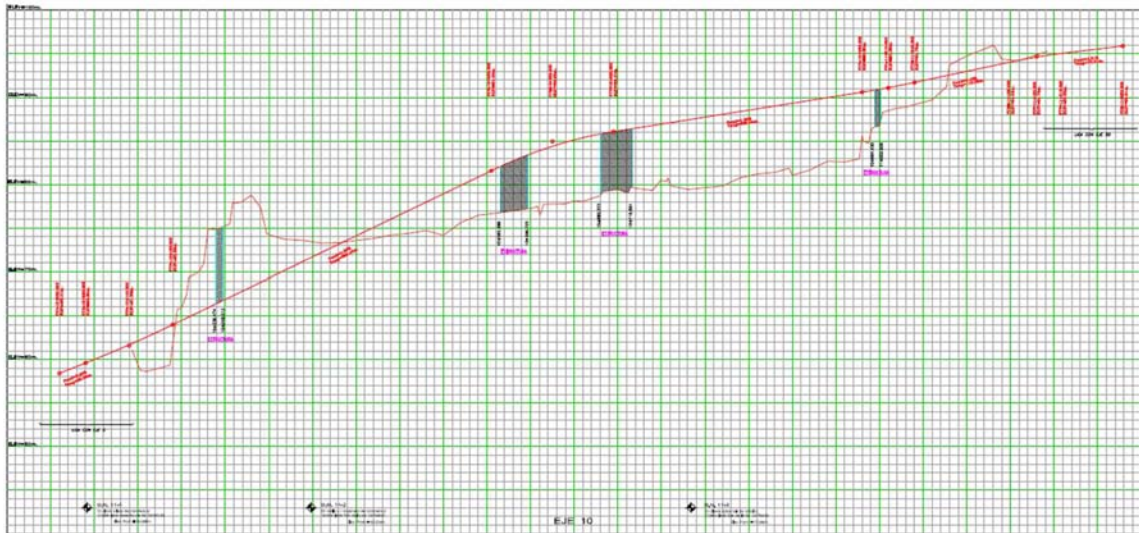


Imagen 22 Perfil del Eje 10 con Estructuras y Ligas

3.9 Secciones Transversales

Al corte de una carretera de forma perpendicular al eje de trazo se le conoce como sección transversal. Estas secciones transversales son graficadas después de obtener todos los elementos anteriores, ya que nos ilustra cómo quedará finalmente el terreno en juego con la carretera. Estas secciones también se ilustran para obtener los volúmenes de corte, terraplén o compactaciones pero desglosados para cada estrato del terreno natural y de la estructura de las terracerías para con ello graficar la denominada curva masa que será descrita más adelante.

Podemos clasificar las secciones transversales como en corte, en terraplén o mixtas dependiendo la diferencia de alturas entre ellas, así una sección que se encuentre completamente a una altura mayor que el terreno natural será una sección en terraplén; una sección que se encuentre completamente por debajo del terreno natural será una sección en corte; y una sección que parte este por debajo y parte por arriba del terreno natural será mixta.

Fuera de esta clasificación las secciones poseen una gran cantidad de elementos que las integran, como por ejemplo:

a) Despalme: Es el estrato que se encuentra en la parte superior del terreno natural, este material se desecha por su alto contenido de materia orgánica o puede ser utilizado para el arropo, cubrir los taludes, y sembrar alguna especie de vegetación para evitar que se erosionen. Dependiendo de las recomendaciones de los ingenieros en geotecnia será el espesor que se despalmee paralelamente a la superficie del terreno. Este tipo de material por las mismas características ya mencionadas siempre es material tipo A en su 100 por ciento.

Este concepto para nuestro proyecto varía dependiendo el tramo en que se encuentre, según las recomendaciones del ingeniero en geotecnia.

b) Terreno natural: Que son las secciones de terreno levantadas sobre los ejes de trazo en campo a una elevación sobre el nivel del mar o respecto a alguna mojonera. Si el ingeniero en geotecnia indica que existe más de un estrato, estos nuevos estratos se supondrán paralelos a la superficie del terreno levantada por los topógrafos y a la profundidad indicada por la geotecnia.

c) Terraplén: Es el estrato inferior de las terracerías y el de especificaciones menores por lo que puede ser obtenido de los mismo cortes en su mayoría de veces o en su defecto de algún banco cercano. Este estrato tiene la función de distribuir las cargas de la subyacente y enviarlas al terreno natural previamente compactado. Por lo general este estrato al igual que el terreno natural se compacta al 90 por ciento de su PVSM y su espesor varía dependiendo la altura de las terracerías.

d) Subyacente: Es el estrato que se encuentra en la parte superior del terraplén y al igual que el anterior es el encargado de distribuir las cargas, pero en este caso de la subrasante para enviarlas al terraplén. Este estrato exige mejores características que el terraplén y tiene al igual que toda la terracería el mismo talud; puede ser producto de material de banco o de una escarificación y compactación del material que se encuentra ahí, dependiendo la calidad del material. Este estrato según las observaciones dadas por el ingeniero en geotecnia tendrá un espesor de 0.20 o 0.50

metros dependiendo el tipo de material que se use y la altura de las terracerías. Este estrato por lo general se compacta al 95 por ciento de su PVSM.

- e) Subrasante: Es el estrato superior de todas las terracerías y recibe las cargas directamente del pavimento para distribuirlas sobre la subyacente. Es el material más fino de las terracerías y por lo general debe ser traído de un banco de préstamo. Este estrato tiene un espesor de 30 centímetros y se compacta al 100 por ciento de su PVSM. La parte superior del estrato debe tener el ancho de la corona más el del ensanche. A lo ancho de la sección debe tener un bombeo o en su defecto la sobreelevación, al igual que los estratos mencionados previamente ya que todos se proyectan de forma paralela.
- f) Taludes: En terraplén son los especificados por el ingeniero en geotecnia y son iguales para toda la estructura de las terracerías; en corte son los especificados igual en el cuadro de resumen de geotecnia para los diferentes estratos del terreno natural y estos si cambian dependiendo el estrato que se está cortando. Los taludes pueden ser modificados por cuestión de seguridad para obtener las distancias de visibilidad en las curvas o para obtener más material si la secretaría lo avala.
- g) Cunetas: Son los canales laterales a la vialidad que se encuentran después de los hombros de sección comúnmente triangular, las dimensiones estándar que usaremos en el proyecto son de un metro de ancho y un talud de 3:1 para el lado interno a la carretera y un talud igual al corte para el lado externo a la carretera; solo se proyectan en corte donde el agua no puede ser desalojada lateralmente a los terrenos adyacentes y debe ser recolectada para después ser depositada en un lavadero o alcantarilla. Las cunetas se pueden proyectar como cunetas provisionales o definitivas. Las cunetas provisionales se construyen cuando el camino no se pavimentará inmediatamente para drenar la subcorona, en estos casos hay que calcular la distancia que difiere de la cuneta definitiva y la provisional para tener el ancho de la cuneta

provisional. La cuneta definitiva es la cuneta con dimensiones mencionadas al inicio de este párrafo y son las dimensiones que conservará al final de la obra.

- h) Contracunetas: Generalmente son de sección trapecial y sirven como las cunetas para recolectar agua, pero en este caso recolectan el agua que escurre sobre los taludes de corte evitando una sobrecarga en las cuentas en casos de altas precipitaciones o recolectan el material que puede llegar a la corona evitando el azolve de las cuentas. Se debe considerar que el mismo peso de la contracunetas no ocasiona inestabilidad en los taludes, esto debe ser supervisado por el ingeniero en geotecnia. En nuestro caso no usaremos contracunetas por la altura de los cortes que es poca.
- i) Bermas: Son las caras horizontales en los taludes que sirven para mantener la estabilidad en los terraplenes o en los cortes. En el caso de los cortes también sirve para detener el material que se pueda desprender sobre la berma y no llegue a la corona. Deben de tener buen drenaje. Tampoco usaremos bermas en el proyecto por la escasa altura de los cortes, que no hace necesario este tipo de obra.
- j) Escalones de liga: Sirven para fijar bien la estructura de las terracerías al terreno natural y que no ocurra un deslizamiento de las terracerías cuando la pendiente transversal es mayor a 25 grados, en terreno tipo A o B tendrán un ancho de 2.50 metros y en material tipo C su ancho será de 1.00 metros; separados a cada 2.00 metros. También se proyectan en los casos de ampliación para ligar ambas terracerías, la existente y la nueva.
- k) Ceros: Es el punto de intersección entre los taludes y el terreno natural, estos puntos son la distancia mínima a partir del eje que debe ser adquirida por el contratista para la construcción, ya que después de estos puntos no hay necesidad de modificar nada.
- l) Cuña de afinamiento: Esta sección triangular adyacente a las terracerías forma parte del sobreancho ya mencionado y se proyecta para asegurar la compactación equitativa sobre las terracerías. Esta cuña se

recomienda sea de 20 centímetros a los lados de la subrasante, llegando hasta los ceros del terraplén. Esta cuña debe removerse al finalizar el proyecto.

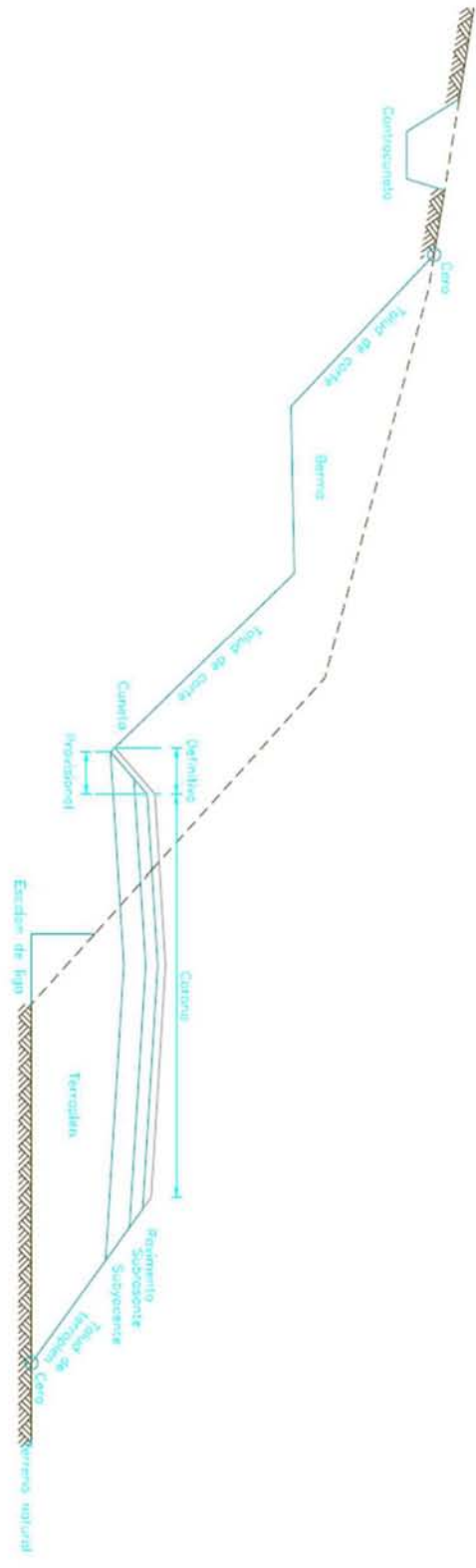


Imagen 23 Sección Transversal

3.10 Curva masa

El diagrama de curva masa es una representación gráfica de los volúmenes de cortes y terraplenes de la obra que nos permite calcular los acarreos.

3.10.1 Volúmenes

Hacemos un cálculo de todas las áreas obtenidas gracias a las secciones transversales para determinar su volumen, este volumen se obtiene gracias a un programa llamado curva masa que calcula el volumen por el método de áreas extremas, este método simplemente obtiene un promedio de las áreas que existen entre dos secciones consecutivas y las multiplica por la longitud que existe entre éstas, así genera los volúmenes que se mencionarán más adelante.

Los volúmenes geométricos que reporta el programa curva masa son:

- a) Despalme en corte: Es el material que se encuentra dentro del área de despalme en las secciones en corte. En las secciones mixtas se calcula el área que está en la parte que queda en corte.
- b) Despalme en terraplén: Es el material que se encuentra dentro del área de despalme en las secciones en terraplén. En las secciones mixtas se calcula el área que está en la parte que se ubica en terraplén.
- c) Corte en los estratos 2 y 3: Es el material que se encuentra en los estratos que siguen del despalme, puede ser solo el estrato 2 o 2 y 3, y que puede ser usado para material de terraplén, subyacente y/o subrasante según indique la geotecnia.
- d) Corte en caja 2 y 3: Es el corte que se hace para alojar la subyacente y subrasante cuando el material no sirve para ninguna de las dos, este corte de igual manera puede ser en los estratos 2 y 3. Aun así este corte puede ser usado para terraplén si el ingeniero en geotecnia lo indicó.
- e) Compactación del terreno natural (CTN): Es el área que pertenece a la compactación del terreno que se hace antes de comenzar la construcción del

terraplén en el terreno despalmado. Esta compactación se hace hasta 20 centímetros de profundidad y a 90 por ciento de su PVSM.

- f) Compactación de la cama de cortes (CCC): Cuando el ingeniero en geotecnia asegure que el material es suficientemente bueno para la subyacente y /o subrasante se indicará en el resumen de geotecnia que se aplique simplemente una compactación a 95 o 100 por ciento de su PVSM dependiendo el estrato que se vaya a formar con el material del sitio, evitándonos hacer cortes excedentes, acarrear material de desperdicio y traer material de préstamo de banco.
- g) Cuerpo de terraplén: Es el área del material que formará todo el cuerpo de terraplén sin importar con que material se completará o de donde será traído.
- h) Subyacente en terraplén: Es el área de la subyacente en las secciones que se encuentran o tienen partes en terraplén. El volumen de la subyacente que se encuentra en corte será denominado dependiendo el tratamiento que se le dé como se ha mencionado en algunos puntos anteriores.
- i) Subrasante en terraplén: Como en el caso de la subyacente el área se obtiene simplemente de las secciones que se encuentran o tienen partes en terraplén. El resto del volumen se llamará dependiendo su tratamiento.
- j) Relleno en caja 95% y 100%: Es el material que se requiere para formar la subyacente y/o subrasante en las secciones que se encuentran en corte y el material que ahí se localiza no sirve para uno o ambos de estos estratos. Por lo que será necesario traer este material de algún banco u otra zona que tenga las características adecuadas para formar el estrato correspondiente.
- k) Excavación, acamellonado, tendido y compactado (Ex.Ac.Te.Co.): Es el material producto de este procedimiento que permite utilizar el material de la zona para la subyacente y/o subrasante.

VOLÚMENES DE CONSTRUCCION															Hoja No : 2																									
Camino : CORDOBA-XALAPA										Proyectista :																														
Tramo : CORDOBA-XALAPA										Archivo :					CMI405AC																									
Subtramo : ENT. CASABLANCA										Fecha :					07-26-2014																									
Alternativa : EJE 10										Hora :					23:17:58																									
Origen : ENT. CASABLANCA																																								
ESTACION	DESP CORTE	DESP TERR	CORTE 2	ESTRATO 3	CORTE 2	CAJA 3	C.T.N.	C.C.C. 95%	C.C.C. 100%	CUERPO TERR	SBY TERR	SBR TERR	RELLENO 95%	CAJA 100%	Ex.Ac. 95%	Te.Co. 100%																								
11076.82	0	73	0	0	0	0	49	0	0	252	105	58	0	0	0	0																								
11080.00	3	10	12	0	0	0	6	2	0	24	14	8	0	0	0	3																								
11100.00	58	20	241	0	0	0	11	35	0	45	24	15	0	0	0	49																								
11130.82	116	0	630	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	96																								
11140.00	33	0	133	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	29																								
11160.00	59	10	78	0	0	0	0	46	0	0	6	12	0	0	0	52																								
11160.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
11180.00	56	10	59	0	0	0	0	45	0	0	6	12	0	0	0	49																								
11192.46	38	0	45	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	35																								
S U M A S D E L K I L O M E T R O							11000.00	A L K I L O M E T R O		11192.46																														
material A							343	material B		330	material C		1199	material A		205	material B		233	material C		0	1475		406		243		0		0		0		313					
TOTALES							1289	material B		3664	material C		14343	material A		0	material B		0	material C		0	2393		682		0		47033		3008		1715		0		0		903	

Una vez obtenidos estos volúmenes se elaboran uno o varios diagramas, dependiendo del proyectista, llamados diagramas de curva masa. Este diagrama se obtiene de la siguiente manera:

Para cada estación se determinan los volúmenes de cortes y terraplenes; estos volúmenes se suman algebraicamente siendo los terraplenes un valor negativo y los cortes un valor positivo, de tal forma que si el valor resultante es positivo tenemos un sobrante de material en la estación y si es negativo hace falta material para la construcción, estos valores se van sumando estación por estación de tal forma de generar una lista con dos columnas, en la primera el cadenamamiento respectivo, y en la segunda el volumen acumulado. Finalmente estos dos valores se grafican; las distancias en las abscisas y los volúmenes acumulados en las ordenadas. Generando así nuestro diagrama de curva masa.

El diagrama de curva masa por su manera de concebirse tiene varias propiedades como:

- 1) El diagrama es ascendente cuando predominan los volúmenes de corte sobre los de terraplén y descendente cuando el caso es contrario.
- 2) Cuando después de un tramo ascendente en el que han predominado los cortes se llega a uno donde los terraplenes predominan, se dice que se ha llegado a un máximo. Cuando el caso es contrario, o sea que primero predominan los terraplenes y luego los cortes, se dice que se ha llegado a un mínimo.

- 3) Si en un diagrama se dibuja una línea horizontal que corte al mismo por dos puntos, por consecuencia estos tendrán la misma ordenada y por consecuencia existirán los mismos volúmenes de corte y de terraplén entre estos. Este tramo se llama un tramo compensado y la línea que une estos dos puntos a través de una distancia se llama compensadora, esta misma distancia es la distancia máxima a la que habrá que mover el material en este tramo y se le llama abertura del diagrama.
- 4) Cuando en un tramo compensado la línea compensadora queda por debajo del diagrama, el sentido del acarreo es hacia adelante y por el contrario si la línea compensadora queda por arriba del diagrama el movimiento será hacia atrás. Esto es porque cuando la línea compensadora queda por debajo del diagrama nos indica que primero tenemos un corte de material, lo que nos lleva a que ese material cortado deberá ser usado para completar las secciones que se encuentran a partir del máximo hasta donde finaliza la línea compensadora.
- 5) Si se considera un trapecio ABCD, donde el material de AB es acarreado una distancia "d" hasta CD, entonces el área del trapecio ABCD nos indica el material acarreado por la longitud a la cual se acarrea; por lo tanto simplemente con saber el área dentro de la línea compensadora y el diagrama, podemos conocer el material total por la distancia a acarrear.

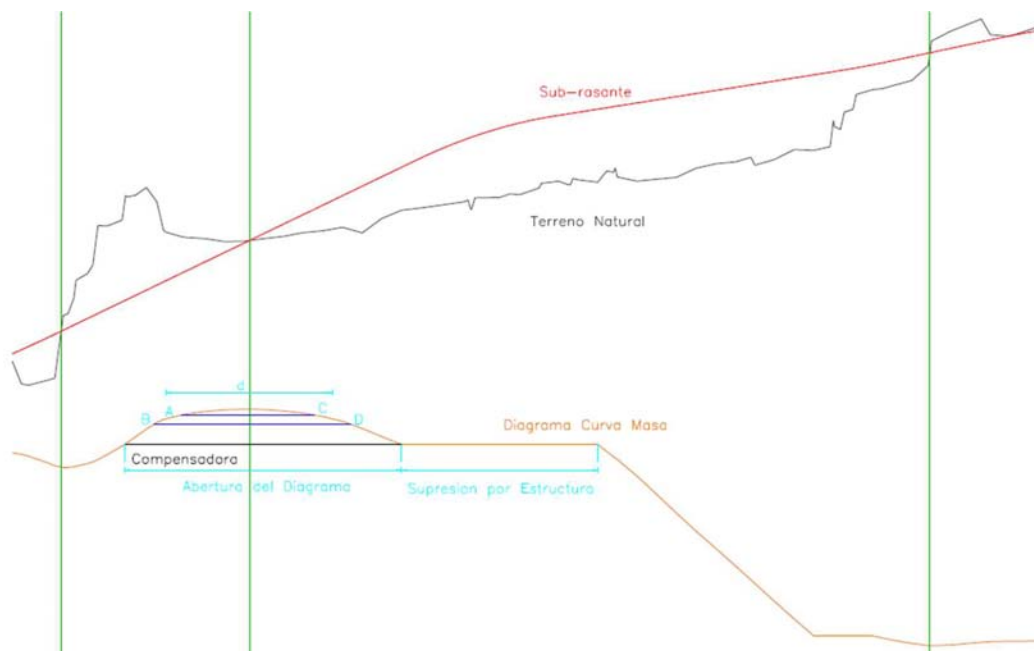


Imagen 24 Sub-rasante y Diagrama Curva Masa (Eje 10, Ent. Casablanca)

Como podemos observar también se pueden hacer supresiones de volúmenes a lo largo de los ejes por estructuras que corresponden a otra área del proyecto, en este caso correspondiente a un puente. Es por esto que el diagrama tiene un tramo horizontal como si no existiesen volúmenes o estuvieran perfectamente compensados.

De esta misma manera se pueden generar diagramas para cada capa de la estructura de la terracería ya que el material para cada una de estas capas en ocasiones no es acarreado del mismo sitio.

Para esto generamos el primer diagrama que es el de terraplén, en este diagrama sumamos los volúmenes de corte multiplicados por el coeficiente de variación volumétrica que el ingeniero en geotecnia nos ofreció sobre el material de la vialidad, estos son el material de corte en los estratos dos y tres, más los cortes en caja de los mismos estratos. A estos les restamos los volúmenes de cuerpo de terraplén. Hay que recordar que si el material de alguno de los estratos del terreno natural no sirve para el terraplén no hay que sumar esos volúmenes en este

diagrama, se deben dejar esos volúmenes para el diagrama de desperdicio. Finalmente con estos valores graficamos el diagrama de terraplén.

Si el material de corte es apto para todas las capas de la estructura de las terracerías podemos acumular todos los cortes y terraplenes en este primer diagrama sin necesidad de elaborar algún otro.

Para el segundo diagrama consideraremos dentro de los volúmenes de terraplén el volumen de subyacente en terraplén y relleno a 95 por ciento; y para el corte no consideramos volumen alguno ya que no sirve para esta capa, o ya fue considerada en algún tratamiento o en el primer diagrama.

Para el tercer diagrama consideramos simplemente los volúmenes de subrasante en terraplén y el relleno a 100 por ciento por las mismas razones que la subyacente.

Para el cuarto diagrama consideramos el material de desperdicio de los cortes, en caso de que este no sirva, como se había mencionado previamente.

3.10.2 Acarreos

Los acarrees son el traslado del material que se usará en la obra desde el banco de préstamo o la misma obra hacia donde se disponga finalmente de él. Estas distancias son medidas desde los centros de masa de los diagramas, estos se obtienen fácilmente dividiendo el área entre la diferencia de ordenadas del diagrama que encierra, esto se concluye fácilmente si desglosamos el significado del área del trapecio ABCD de la imagen anterior.

En estos acarrees consideraremos las unidades dependiendo la distancia de acarreo, como:

Para una distancia menor o igual a 20 metros el acarreo se llama acarreo libre ya que el material puede ser transportado con un giro de una retroexcavadora sin necesidad de llevar el material en un camión a otro lugar.

Para una distancia mayor a 20 metros y menor a 120, el acarreo se realiza por estación (m^3 Est), ya que cada estación mide 20 metros podemos tener desde una

hasta cinco estaciones. No hay que olvidar que a los 120 metros o a cualquier distancia hay que restarle el acarreo libre.

Para una distancia desde 120 metros hasta 520 metros, se mide en hectómetros ya que cada hectómetro equivale a 100 metros, para los primeros 100 metros se usa la unidad hectómetro ($m^3 Hm$), para el hectómetro subsecuente se usa la unidad hectómetro más uno o subsecuentes ($m^3 Hm + 1$, $m^3 Hm$ subs), por lo que podemos tener desde un hectómetro hasta cinco hectómetros.

Para distancias que van de los 520 hasta los 2020 metros, se ocupa la unidad llamada 5 hectómetros ($m^3 5Hm$) para los primero cinco hectómetros, para los siguientes se usa la unidad de cinco hectómetros más uno o subsecuentes ($m^3 5Hm + 1$, $m^3 5Hm$ subs).

Finalmente para distancias mayores los acarreos se realizan por kilómetro ($m^3 Km$) para el primer kilómetro, ya que para los siguientes kilómetros se usa la unidad de kilómetros subsecuentes o más uno ($m^3 km$ subs, $m^3 km + 1$).

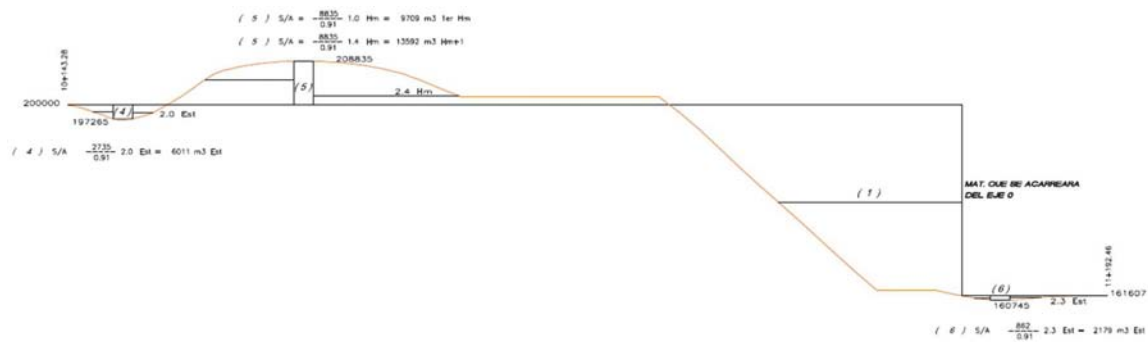


Imagen 25 Diagrama Compensado de Cuerpo de Terraplén

En el proyecto todos estos acarreos se registran en hojas de cálculo, existe una hoja de cálculo para los préstamos de banco; otra para los sobreacarros de material de corte, que son acarros que se harán del material de corte de la misma vialidad y se transportarán a otro punto de esta; y otra para los desperdicios de material.

En nuestro caso el material producto de los cortes es suficiente para los terraplenes de nuestro proyecto, por lo que no tenemos préstamos de banco; y tampoco existen desperdicios ya que el material restante se transportará al kilómetro 1+000.00 para ser usado en camino abierto.

CARRETERA :	Cordoba - Xalapa
TRAMO :	Ent. Casablanca - Ent. Tenenexpan
DE KM :	A KM :
ORIGEN :	Ent. Casablanca

PRESTAMOS DE BANCO
CLASIFICACIONES Y SOBRECARREROS

(I)	PRESTAMO DEL BANCO EL 18+200	(II)	PRESTAMO DEL BANCO EL 18+200	
	a 100 m. DER de EST. 18+200.00		a 100 m. DER 18+200.00	
Clasificación =	0 80 20	Clasificación =	0 80 20	
DE KM	A KM	DE KM	A KM	
Geométrico en el Terraplén =	0 m3	Geométrico en el Terraplén =	0 m3	
Compactado a 100 % = $\frac{0}{0.90}$ =	0 m3	Compactado a 100 % = $\frac{0}{0.90}$ =	0 m3	
Compactado a 95 % = $\frac{0}{0.95}$ =	0 m3	Compactado a 95 % = $\frac{0}{0.95}$ =	0 m3	
Compactado a 90 % = $\frac{0}{1.00}$ =	0 m3	Compactado a 90 % = $\frac{0}{1.00}$ =	0 m3	
Geométrico en el Préstamo =	0 m3	Geométrico en el Préstamo =	0 m3	
Dist. Media =	0.00 m.	Dist. Media =	0.00 m.	
S.A. {	0 m3 al 1er Km.	S.A. {	0 m3 al 1er Km.	
	0 m3 X 0.0 Km = 0 m3 Km.Subs.		0 m3 X 0.0 Km = 0 m3 Km.Subs.	
A=	0 m3 B= 0 m3 C= 0 m3	A=	0 m3 B= 0 m3 C= 0 m3	
(III)	PRESTAMO DEL BANCO EL 18+200	(IV)	PRESTAMO DEL BANCO EL 18+200	
	a 100 m. DER de EST. 18+200.00		a 100 m. DER 18+200.00	
Clasificación =	0 80 20	Clasificación =	0 80 20	
DE KM	A KM	DE KM	A KM	
Geométrico en el Terraplén =	0 m3	Geométrico en el Terraplén =	0 m3	
Compactado a 100 % = $\frac{0}{0.90}$ =	0 m3	Compactado a 100 % = $\frac{0}{0.90}$ =	0 m3	
Compactado a 95 % = $\frac{0}{0.95}$ =	0 m3	Compactado a 95 % = $\frac{0}{0.95}$ =	0 m3	
Compactado a 90 % = $\frac{0}{1.00}$ =	0 m3	Compactado a 90 % = $\frac{0}{1.00}$ =	0 m3	
Geométrico en el Préstamo =	0 m3	Geométrico en el Préstamo =	0 m3	
	0.00 m.		0.00 m.	
S.A. {	0 m3 al 1er Km.	S.A. {	0 m3 al 1er Km.	
	0 m3 X 0.0 Km = 0 m3 Km.Subs.		0 m3 X 0.0 Km = 0 m3 Km.Subs.	
A=	0 m3 B= 0 m3 C= 0 m3	A=	0 m3 B= 0 m3 C= 0 m3	
CLASIFICACION	MATERIAL "A"	MATERIAL "B"	MATERIAL "C"	TOTAL
TOTAL DE SOBRECARREROS	0	0	0	0
	m3 al 1er Km.	m3 Km. Subs.		
	0	0		

Imagen 26 Registro de Préstamo de Banco

En el registro podemos observar el banco de préstamo y la localización de este respecto al eje de trazo, junto con la clasificación de material que se puede extraer del mismo.

Seguido de los volúmenes requeridos para el respectivo movimiento, afectados por los coeficientes de abundamiento del material del banco, a esta cantidad se le

OBRAS VIAL		RAMAL A POZA RICA		DE ESTACION		ENTRONQUE					
TRAMO		ENT. CASABLANCA - ENT. URSULO GALVAN II		A ESTACION		URSULO GALVAN II					
SUB-TRAMO		ENT. URSULO GALVAN II		ORIGEN		ENT. CASABLANCA					
EJE	DIST. MEDIA	SOBRECARRERO				SOBRECARRERO ADICIONAL					
208 DER	Dm= 1905m	(A)	S / A = $\frac{898}{1.00}$	X 5	5Hm = 898	m ³ -5Hm	(A)	S / A = 898	X 14	5Hm = 12662	m ³ -Hm*5
208 IZQ	Dm= 2044m	(B)	S / A = $\frac{776}{1.00}$	X 1	Km = 776	m ³ -1erKm	(B)	S / A = 776	X 2	Km = 1552	m ³ -KmAds
10	Dm= 1958m	(C)	S / A = $\frac{3644}{1.00}$	X 5	5Hm = 3644	m ³ -5Hm	(C)	S / A = 3644	X 15	5Hm = 53202	m ³ -Hm*5
20	Dm= 1609m	(D)	S / A = $\frac{610}{1.00}$	X 5	5Hm = 610	m ³ -5Hm	(D)	S / A = 610	X 11	5Hm = 6771	m ³ -Hm*5
TOTAL DE SOBRECARRERO DE DESPERDICIO		m ³ -Est	m ³ -1er Hm	m ³ -Hm Ads	m ³ -5 Hm	m ³ -Hm Ads	m ³ -1erKm	m ³ -Km Ads	Agua		
CLASIFICACION		MATERIAL " A "		MATERIAL " B "		MATERIAL " C "		Despalm e total del banco			
		2964		2964		72635		1552			

Imagen 28 Ejemplo de Registro de Desperdicios del Ent. Úrsulo Galván II

Este registro de desperdicios al igual que los demás contempla los volúmenes que se acarrearán, las distancias medias y los factores de abundamiento que afectan a los volúmenes.

Al final se elabora un resumen de las cantidades, la clasificación de los mismos.

3.11 Pasos a desnivel

Los pasos a desnivel son vialidades que no se conectan al entronque o al camino abierto pero deben de ser respetados para que las personas que ocupa estas vialidades no se quede incomunicadas, los pasos a desnivel aunque en muchas ocasiones no se consideran parte del proyecto deben ser respetados o en su caso modificados para dar servicio. Estos pasos se catalogan como pasos vehiculares, peatonales, ecológicos o ganaderos; y por su elevación respecto a la troncal en superiores o inferiores.

En el proyecto se cuenta con dos pasos vehiculares que deben respetarse por lo que se limitará a respetar sus gálibos y el encargado de sus proyectos deberá ver por las estructuras correspondientes.

3.12 Señalamiento

El señalamiento es el conjunto de instrucciones a lo largo de la vialidad que permite guiar al usuario a través de los enlaces a su destino sin perder su rumbo y precaviéndolo de los posibles riesgos que existen.

El señalamiento se divide en horizontal y vertical. El señalamiento horizontal son el conjunto de marcas y líneas sobre el pavimento que permiten guiar al usuario por su carril y dando indicaciones sencillas como cuando se puede o no rebasar, cuando se debe bajar la velocidad, cuando se puede cambiar la dirección o instrucciones cortas. El señalamiento vertical son el conjunto de letreros a los lados de la vialidad y por arriba de ella que nos dan aviso de información (SI), de restricciones (SR) o

nos prohíben algo en específico (SP) para respetar las condiciones bajo las que fue diseñado el entronque.

También parte del señalamiento se consideran las barreras centrales que nos protegen de los vehículos que circulan en sentido contrario y de sus luces, las defensas metálicas que ayudan a evitar que algún vehículo salga del camino y los delineadores que como las marcas en el pavimento nos ayudan a seguir el alineamiento horizontal establecido.

En los casos donde se está conectando una nueva vialidad con otra ya existente, o simplemente en donde estemos afectando alguna vialidad ya en funcionamiento, se debe considerar un señalamiento llamado: señalamiento de obra. Este señalamiento simplemente será usado el periodo que dure la obra y después se retirará del área. Su función es la de dar aviso a los vehículos que ya circulan, de las operaciones que se están llevando a cabo para prevenir altercados que puedan suceder tanto a los usuarios de la vialidad como a los trabajadores de la obra.

Estos dos señalamientos deben ser proyectados con mucho cuidado por un ingeniero especialista en señalamiento ya que de ellos depende en gran medida la seguridad de los vehículos y de los obreros o ingenieros envueltos en la obra. Por lo que estos dos planos son pedidos al ingeniero respectivo.

3.13 Pavimento

El pavimento es la superficie de rodamiento sobre la cual circulan los vehículos, esta superficie es la encargada de distribuir las fuerzas que recibe, a través de las llantas, a las terracerías y está conformada por lo normal de tres capas: la primera de abajo hacia arriba se llama sub-base, la segunda es la base y finalmente en la parte superior de toda la estructura se encuentra la carpeta que puede ser elaborada de material asfáltico o material hidráulico.

El espesor de pavimento es uno de los datos esenciales que el ingeniero debe considerar desde un inicio ya que el ancho de las secciones transversales ya debe

contemplar el ensanchamiento que llevará para los taludes del pavimento en el caso de pavimentos asfálticos.

El espesor y tipo de pavimentos se obtendrá de una proyección del tránsito que circulará por la obra durante el periodo que dará servicio antes de requerir mantenimiento para el pavimento en combinación con el tipo de vehículos y el peso de estos. Existen varios métodos para obtener el espesor una vez determinado el tipo de pavimento que se usará. La combinación de la sub-base, base y carpeta serán de relevancia para este factor y deberán ser propuestos y calculados por el ingeniero a cargo.

Para nuestro entronque se nos indicó que el pavimento simplemente estaría conformado por 30 centímetros de base estabilizada y 30 centímetros de concreto hidráulico como carpeta, no tendrá sub-base. Dando un espesor total de pavimento de 60 centímetros.

3.14 Derecho de vía

Es la franja de territorio que deberá ser adquirida para realizar la obra y que a partir de ese momento pertenecerá al gobierno. El ancho de esta franja se determina principalmente por el tipo de carretera que se construirá, las ampliaciones que se tienen pensadas y los cerros. Aunque la franja en ocasiones sea menor que los cerros, este terreno debe ser adquirido ya que será modificado para la estabilidad de los taludes y no deberá ser afectado por ningún otro propietario.

Para el entronque Casablanca el derecho de vía será de 20 metros a cada lado del eje de trazo principal y hasta 15 metros del lado externo de los enlaces para cubrir toda el área que ocupa el entronque a desnivel. En los casos donde los cerros salgan del derecho de vía por tratarse de terraplenes o cortes altos se adquirirá un poco más, pero esto sucede en una distancia muy pequeña por lo que no es mayor problema.

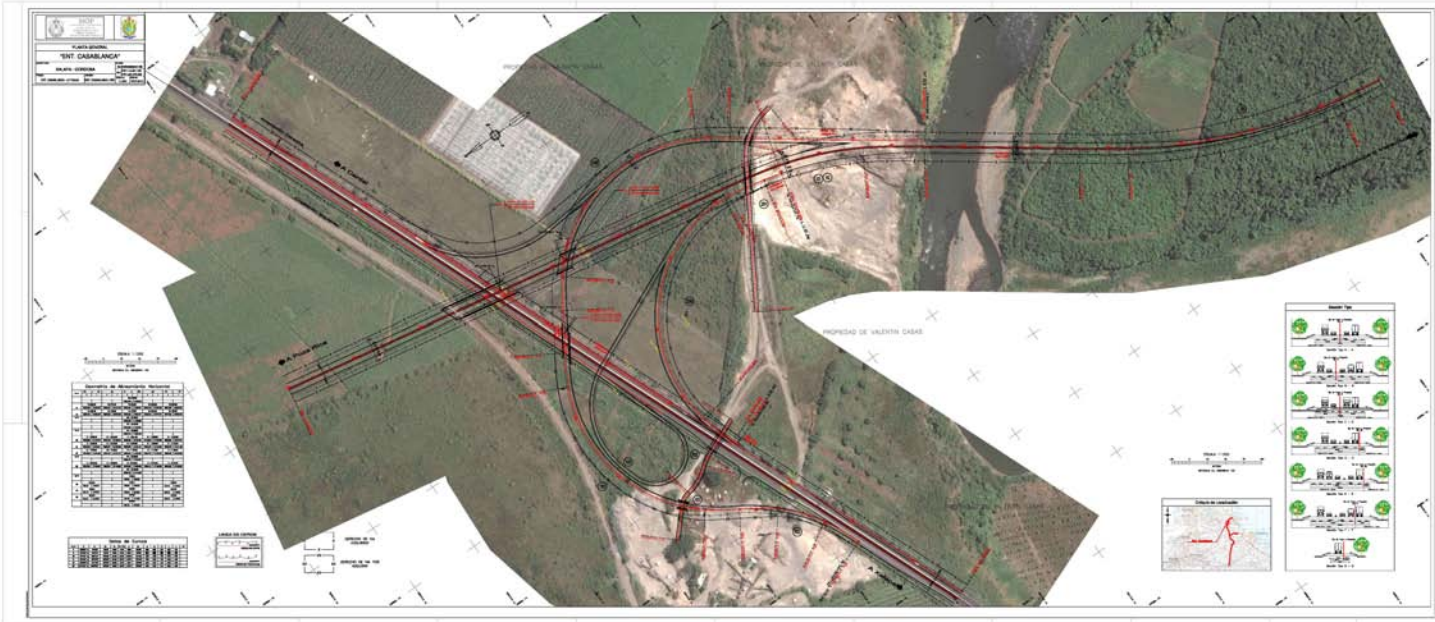
3.15 Catálogo de conceptos

Por último se hace un resumen con todos los conceptos y valores del material que se requerirá para el entronque a desnivel donde se especifica el material junto con sus especificaciones, las unidades que servirán de base para medirlo y la cantidad de estos.

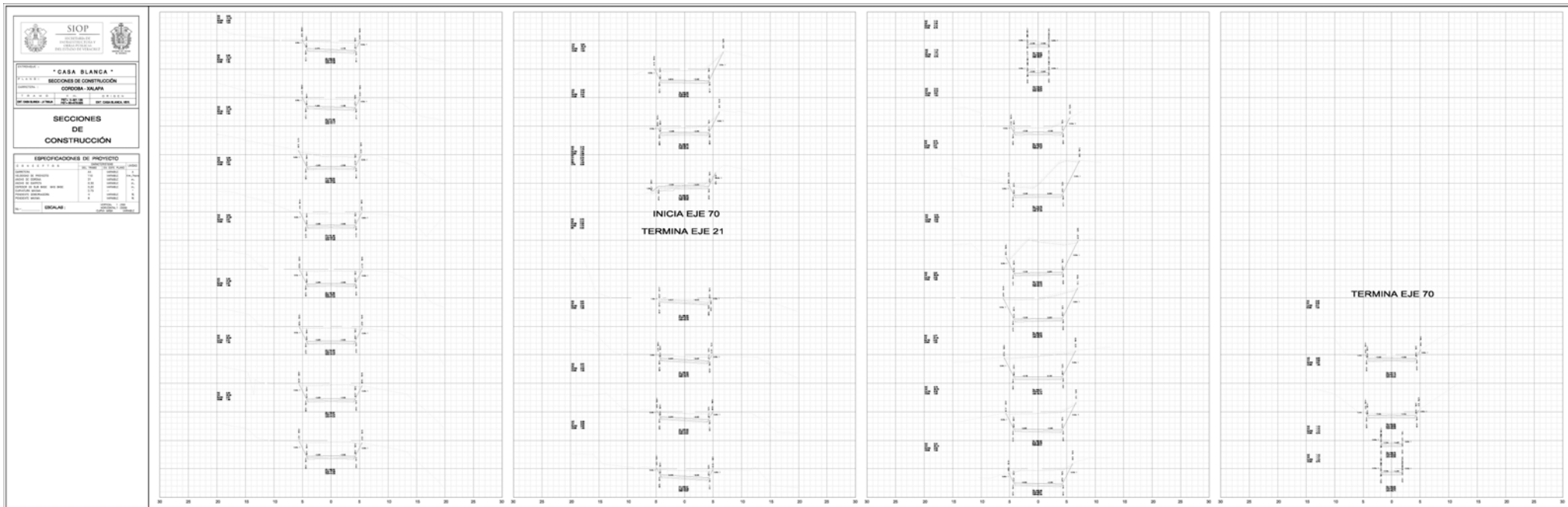
Cada concepto debe estar perfectamente definido para que no pueda ser confundido y se haga un mal cálculo posteriormente de los precios que afecten a la obra.

4 Anexos

4.1 Planta General



4.3 Secciones de Construcción



5 Bibliografía

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2001). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. (s.f.). *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*. México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1984). *Generalidades y Terminología*. México.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (1984). *Normas de Servicios Técnicos*. México.