

IV TRABAJO EN GABINETE



PROYECTO GEOMETRICO.

Para la etapa del proyecto geométrico del alineamiento vertical (propuesta de subrasante definitiva) se presentó al supervisor de terracerías de la SCT un perfil de trabajo que contenía los siguientes datos: elementos principales del alineamiento horizontal (PST, PC, PT, TE, EC, CE y ET), azimutes (AZAC) y longitud de tangentes libres; perfil del terreno, escalas 1:2,000 horizontal y 1:200 vertical, con la propuesta de la subrasante definitiva; ubicación, tipo y rasante mínima por la ubicación de posibles estructuras y drenaje menor.

Previo a la revisión de proyecto geométrico del alineamiento vertical. El Supervisor del proyecto, dio el visto bueno de la revisión de los datos de campo, y dimensiones de las posibles obras de drenaje, incluyendo rasante mínima.

Después de realizar el trabajo en campo y juntar toda la información posible, lo que sigue es el trabajo en gabinete. En gabinete se fue revisando toda la información obtenida en campo y se pasaron los registros de las libretas de campo a archivos electrónicos, archivos que serán entregados a la SCT, al final del proyecto. Estos archivos son los registros que anteriormente fueron mostrados, registro de trazo, nivel, secciones, referencias y coordenadas.

El trabajo que se debe entregar a la SCT y que se realizó en gabinete de topografía es el siguiente:

I. Registros Definitivos de Campo

1. Registro de trazo definitivo
2. Registro de nivel definitivo
3. Registro de secciones definitivo
4. Registro de drenaje menor definitivo
5. Registro de cálculo de coordenadas

II. Proyecto constructivo de terracerías

1. Proyecto subrasante
2. Calculo de sobreelevaciones y ampliaciones
3. Calculo de áreas, volúmenes y curva masa
4. Movimiento de terracerías
5. Cantidades de obra

III. Elaboración de planos de proyecto constructivo en Auto Cad

1. Plantas generales por Km.
2. Perfil de trabajo
3. Secciones de construcción
4. Perfiles de las posibles obras de drenaje menor.

IV. Proyecto de señalamiento

Los registros de trazo, nivel, secciones, drenaje y coordenadas ya fueron presentados en el capítulo anterior. Cabe mencionar que no participé en todo el trabajo de gabinete, ya que para esto hay especialistas en proyecto de terracerías, geotecnia, drenaje y señalamiento, que son expertos en estas áreas, por lo que solo en los puntos donde tuve mi participación apoyando al trabajo de los especialistas profundizaré en el tema, mientras que en los que tuve poca participación lo mencionaré de manera general.

NOTA: MENCIONARE ALGUNOS CONCEPTOS IMPORTANTES QUE TUVE QUE INVESTIGAR PARA APOYAR A LOS ESPECIALISTAS CON ALGÚN TIPO DE CAPTURA DE DATOS O COPIA DE DATOS DE UN PLANO O REGISTRO FINAL.

IV.1 Alineamiento horizontal

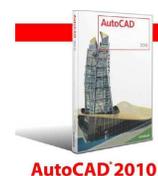
DURACION: 7 DIAS

PERSONAL QUE PARTICIPA:

MANO DE OBRA	NUMERO DE PERSONAS	JORNADA
DIRECTOR RESPONSABLE	1	7
GERENTE DE PROYECTO	1	7
AUXILIAR DE PROYECTO	1	7
CALCULISTA	1	7
CAPTURISTA	1	7

EQUIPO UTILIZADO:

- COMPUTADORA HP
- Software
- Manual de proyecto Geométrico de Carreteras.



ALINEAMIENTO HORIZONTAL: Es la proyección del eje de proyecto de una carretera de la subcorona sobre un plano horizontal.

La proyección horizontal del eje de trazo, ya se había realizado anteriormente y se habían realizado los ajustes en las curvas horizontales y por último se obtuvieron las coordenadas finales siguiendo las normas de servicios técnicos de la SCT siguientes.

De las características geométricas para el proyecto del alineamiento horizontal conviene observar lo siguiente:

- a) Las tangentes muy largas pueden resultar peligrosas, sobre todo para carreteras con altas velocidades de proyecto. Esta situación podrá evitarse sustituyendo dichas tangentes por otras de menor longitud unidas entre sí por curvas suaves.
- b) El grado de las curvas circulares se debe elegir de manera que se ajusten lo mejor posible a la configuración del terreno. En general, el grado de curvatura será el menor posible para permitir la mayor fluidez del tránsito, pero sin perder de vista el costo de construcción.
- c) Se evitan cambios bruscos en el alineamiento horizontal. Así, al pasar de una tangente larga a una curva, esta debe ser de grado pequeño, bastante menor que el máximo especificado. Análogamente, si el proyecto comprende un tramo sinuoso entre dos (2) de buen alineamiento se procurará que el grado de las curvas vaya aumentando paulatinamente hacia las curvas de mayor grado usadas en el tramo sinuoso.
- d) El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible, sin dejar de ser congruente con la topografía. Un alineamiento que se adapta al terreno es preferible a otro con tangentes largas pero con repetidos cortes y terraplenes.
- e) Conviene evitar las curvas circulares compuestas y las curvas consecutivas en el mismo sentido.

f) Las curvas consecutivas en el mismo sentido, se podrán sustituir por:

f.1) Una sola curva que se ajuste, en lo posible, al trazo original.

f.2) Otras curvas de mayor grado, pero menores al máximo, para lograr la condición de tangente libre de uno punto siete (1.7) veces la velocidad, de proyecto, expresada anteriormente.

g) Cuando en una curva horizontal con talud de corte en su lado interior, no se satisfaga la distancia de visibilidad de parada, se puede recurrir a cualquiera de las soluciones siguientes:

g.1) Recortar él, talud interior de la curva.

g.2) Disminuir el grado de la curva.

h) Cuando los ángulos centrales de las curvas sean pequeños, se evitara longitudes de curva corta para quitar la apariencia de codo.

1) Se procurará que la longitud máxima de una curva horizontal con o sin espirales de transición no exceda la distancia recorrida por el vehículo en 20 segundos a la velocidad de proyecto.

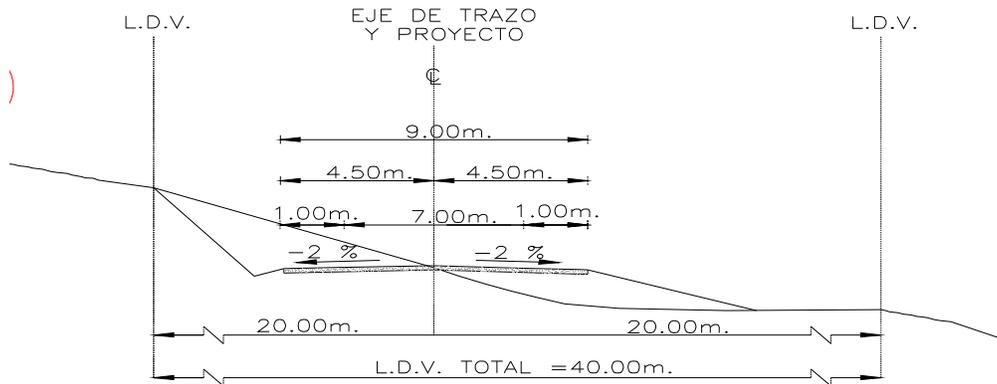
Una de las cosas que pude observar en la propuesta del eje de proyecto es que aparentemente los PST o puntos sobre tangentes, no resultan de mucha importancia al proyectar el eje, pero son fundamentales en campo. Estos puntos se colocan al inicio de nuestro proyecto y al final, siempre y cuando no se empiece o termine con una curva, porque entonces llevaría el nombre del punto de la curva, PC, PT, TE o ET. Estos puntos se colocan cuando el camino se encuentra en tangente, y en campo nos sirven como puntos de apoyo para realizar cambios de aparato, saber por donde pasa nuestro eje y poder seguir trazando o levantando puntos. Los PST no deben ser colocados a una distancia mayor de 300m en terreno plano, ya que si es superior a esta distancia, al visar a otro PST con el aparato, la visibilidad no será buena. A estos puntos al igual que los puntos principales de las curvas, se le calculan sus coordenadas y en campo son puestos sobre mojoneras.

Los ajustes realizados, en el eje de trazo ubicado en campo solo fueron pocos, hubo poca variación entre el eje de proyecto preliminar de la restitución y el eje de trazo definitivo, debido a que en zonas no se hizo el previo apoyo terrestre aun así el trazo de las curvas circulares ayudaron a que se adaptara el eje de proyecto al campo.

Eje de proyecto: Línea que pasa en el centro de la corona de la carretera a lo largo de esta y la cual define su dirección y sentido

Eje de trazo: Línea que sirve de base para el trazo de nuestro proyecto en campo.

SECCION TIPO



En este caso ambos son el mismo ya que se trata de una carretera nueva.

Después de trazar nuestro eje de proyecto, se calcularon las coordenadas para los puntos principales de las curvas; es decir, PC, PT, TE, EC, PST, etc., esto para que los ajustes realizados en el campo como los nuevos PST tengan sus coordenadas y en su posterior construcción de la carretera se ubiquen con facilidad.

La obtención de coordenadas se realizaron por medio de una hoja de cálculo, cuyos datos de captura son: coordenadas XY, Px, Py, azimut inicial y cadenamientos de todos los puntos de las curvas.

Las formulas para el cálculo de coordenadas conociendo las coordenadas y azimut iniciales son:

$$Az = \Delta + Az'$$

$$ProyX = D * \text{sen}(Az)$$

$$ProyY = D * \text{cos}(Az)$$

D = Distancia entre los dos puntos

$$X = Xi + ProjX$$

$$Y = Yi + ProjY$$

Donde:

Az = Azimut

Az' = Azimut inicial

Δ = Deflexión (se debe considerar que si la Δ es a la izquierda se considera negativa, si es a la derecha se considera positiva)

X_i = coordenada en X inicial

Y_i = coordenada en Y inicial

ProjX = proyección en X

ProyY = proyección en Y
 X = coordenada en X final
 Y = coordenada en Y final.

Es suficiente conocer las coordenadas de al menos dos puntos que pertenezcan al proyecto para que en función de éstas queden referenciados los elementos de todas las curvas que componen el proyecto, a partir de estas coordenadas iniciales se obtienen las coordenadas de los PST y PI; con estos datos se obtendrá las respectivas distancias y azimut; así como las deflexiones y sentido para cada una de las curvas.

Para obtener la distancia se emplea la formula:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

El Azimut se obtiene a partir del rumbo y este se calcula con la siguiente fórmula:

$$Rbo_{1-2} = \arctan \frac{X_1 - X_2}{Y_1 - Y_2}$$

La deflexión de la curva se obtiene con la diferencia de los azimut; el sentido de las curvas estará determinado por la deflexión de las tangentes.

En las siguientes tablas de coordenadas se muestra los cálculos de las coordenadas de los puntos principales de las curvas, así como los PST.

A continuación se muestra el Registro de Cálculo de Coordenadas del Trazo, el que contiene la información necesaria para la determinación de las coordenadas topográficas de los puntos característicos del eje de trazo del tramo desde el Km 120+000.00 al km 125+000.00



DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS
DIRECCION TECNICA
SUBDIRECCION DE PROYECTOS Y DE CARRETERAS
DEPARTAMENTO DE PROYECTO PRELIMINAR

CALCULO DE COORDENADAS DEL TRAZO DEFINITIVO

Hoja No. 1/2

OBRA VIAL		EJE MITLA-SAYULA		DE km	120+000.000	A km	125+000.000											
TRAMO		BENITO JUAREZ-VILLA JUANITA		ORIGEN	MITLA, OAX													
SUBTRAMO		BENITO JUAREZ-NVO. IXCATLAN																
ESTACION	PUNTO		SUBTANGENTE ATRÁS	TANGENTE	SUBTANGENTE ADELANTE	DISTANCIA	DEFLEXIONES -I/+D			AZIMUT ASTRON.			PROYECCIONES			COORDENADAS		
	OBSERVADO						GRA	MIN	SEG	GRA	MIN	SEG	SENO	PROY X	COSENO	PROY Y	X	Y
PST=	120+090.035	PST=	120+260.000		169.965					66	2	54.3	0.9139	155.32912	0.406	68.99976	218,111.346	1,945,107.328
PST=	120+260.000	PST=	120+644.565		384.565					66	2	54.3	0.9139	351.44966	0.406	156.11975	218,462.796	1,945,263.448
PST=	120+644.565	PST=	120+716.895		72.330					66	2	54.3	0.9139	66.10158	0.406	29.363414	218,528.897	1,945,292.811
PST=	120+716.895	PST=	120+747.668		30.773					66	2	54.3	0.9139	28.123101	0.406	12.492746	218,557.020	1,945,305.304
PST=	120+747.668	PC=	120+753.952		6.284					66	2	54.3	0.9139	5.7428774	0.406	2.5510811	218562.763	1945307.855
PC=	120+753.952	PI=	120+924.708	170.756						66	2	54.3	0.9139	156.052	0.406	69.320878	218,718.815	1,945,377.176
PI=	119+183.039	PI=	120+924.708			1742.742				66	2	54.3	0.9139	1592.6725	0.406	707.49143	218,718.815	1,945,377.176
PI=	120+924.708	PT=	121+094.834		170.756		8	31	19.32	74	34	13.6	0.964	164.60166	0.2661	45.430215	218,883.417	1,945,422.606
PT=	121+094.834	PST=	121+333.991		239.157					74	34	13.6	0.964	230.53737	0.2661	63.628534	219,113.954	1,945,486.235
PST=	121+333.991	PST=	121+367.411		33.420					74	34	13.6	0.964	32.215486	0.2661	8.8915047	219,146.170	1,945,495.126
PST=	121+367.411	PST=	121+408.069		40.658					74	34	13.6	0.964	39.192616	0.2661	10.817199	219,185.362	1,945,505.944
PST=	121+408.069	PST=	121+711.055		302.986					74	34	13.6	0.964	292.06587	0.2661	80.610456	219,477.428	1,945,586.554
PST=	121+711.055	PC=	121+753.351		42.296					74	34	13.6	0.964	40.77158	0.2661	11.252995	219,518.200	1,945,597.807
PC=	121+753.351	PI=	121+951.445	198.094						74	34	13.6	0.964	190.95435	0.2661	52.703583	219,709.154	1,945,650.511
PI=	120+924.708	PI=	121+951.445			1027.367				74	34	13.6	0.964	990.33894	0.2661	273.33449	219,709.154	1,945,650.511
PI=	121+951.445	PT=	122+149.293		198.094		-4	-56	-57.41	69	37	16.2	0.9374	185.69543	0.3482	68.981435	219,894.850	1,945,719.492
PT=	122+149.293	PST=	122+203.785		54.492					69	37	16.2	0.9374	51.081384	0.3482	18.975518	219,945.931	1,945,738.468
PST=	122+203.785	PST=	122+489.130		285.345					69	37	16.2	0.9374	267.48546	0.3482	99.364481	220,213.416	1,945,837.832
PST=	122+489.130	PC=	122+699.606		210.476					69	37	16.2	0.9374	197.30245	0.3482	73.293166	220410.719	1945911.125
PC=	122+699.606	PI=	122+909.838	210.232						69	37	16.2	0.9374	197.07373	0.3482	73.208199	220,607.793	1,945,984.333
PI=	121+951.445	PI=	122+909.838			958.639				69	37	16.2	0.9374	898.63845	0.3482	333.8228	220,607.793	1,945,984.333
CALCULO	P.O.I.D.L. S.A. DE C.V.						REVISO							APROBO				
FECHA	Noviembre 2010						FECHA							FECHA				

IV.2 ALINEAMIENTO VERTICAL

DURACION: 30 DIAS

PERSONAL QUE PARTICIPA:

MANO DE OBRA	NUMERO DE PERSONAS	JORNADA
DIRECTOR RESPONSABLE	1	15
GERENTE DE PROYECTO	1	15
AUXILIAR DE PROYECTO	1	15
CALCULISTA	1	15
CAPTURISTA	1	15

EQUIPO UTILIZADO:

COMPUTADORA HP VECTRA



IMPRESORA HP LÁSERJET4P

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona.

Al eje de la subcorona en alineamiento vertical se le llama línea subrasante.

El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas.

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa como T_v . La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra A.

- A) Pendiente gobernadora. Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno, la mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.
- B) Pendiente máxima. Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleará, cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como cantiles, fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud crítica.

- C) Pendiente mínima. La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula, en los cortes se recomienda 05% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas, en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.

CARRETERA TIPO	PENDIENTE GOBERNADORA (%)			PENDIENTE MÁXIMA (%)		
	TIPO DE TERRENO			TIPO DE TERRENO		
	PLANO	LOMERIO	MONTAÑOSO	PLANO	LOMERIO	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

Valores Máximos de las pendientes gobernadoras y de las pendientes máximas

- D) Longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical. Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

Los elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica de una tangente son fundamentalmente el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito.

El vehículo con su relación peso/potencia, define características de operación que determinan la velocidad con que es capaz de recorrer una pendiente dada. La configuración del terreno impone condiciones al proyecto que, desde el punto de vista económico, obligan a la utilización de pendientes que reducen la velocidad de los vehículos pesados y hacen que éstos interfieran con los vehículos ligeros. El volumen y la composición del tránsito son elementos primordiales para el estudio económico del tramo, ya que los costos de operación dependen básicamente de ellos.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de esta, se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de ésta.

- A) Forma de la curva. La condición que se considera óptima para la conducción de un vehículo, corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante. Esto es:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1$$

por lo que la componente horizontal de la aceleración:

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Si llamamos U a la velocidad del vehículo al entrar a la curva, se tendrá que para $t = 0$, $V_x = U_x$, por lo que:

$$U_x = \frac{dx}{dt}$$

Integrando:

$$x = U_x t + C_2$$

Si: $t = 0, x = 0, y C_2 = 0$; por lo que $t = \frac{x}{U_x}$

Por otra parte: $a_y = \frac{dV_y}{dt} = -g$

Despejando dV_y e integrando: $V_y = -gt + C_3$

Si: $t = 0, V_y = U_y$ y $C_3 = U_y$; por lo que

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -gt + U_y$$

Integrando:

$$y = -\frac{gt^2}{2} + U_y t;$$

Como

$$t = \frac{x}{U_x}$$

$$y = -\frac{gx^2}{2U_x^2} + \frac{U_y x}{U_x}$$

Pero

$$\frac{U_y}{U_x} = P$$

En donde P es la pendiente de la tangente de entrada y:

$$-\frac{g}{2U_x^2} = K \text{ en donde K es una constante.}$$

Por lo que $y = Kx^2 + Px$

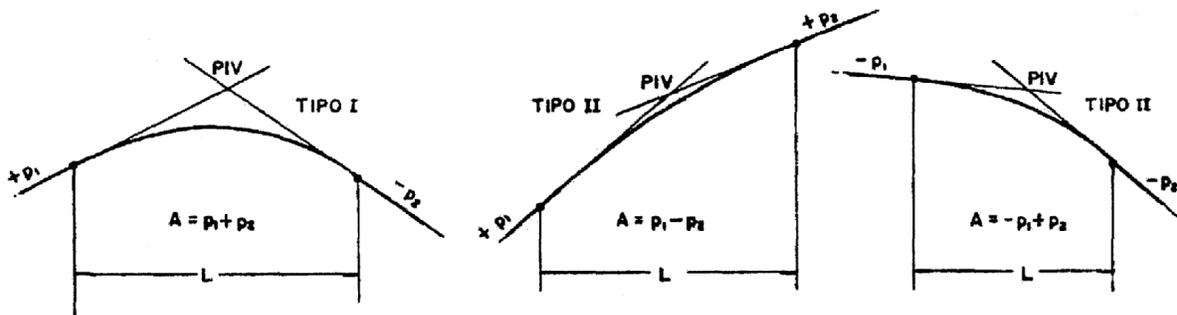
La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales. Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente. En la Figura 8.2 se ilustran los tipos representativos de curvas verticales en cresta y en columpio; en los tipos I y III las pendientes de las tangentes de entrada y salida tienen signos contrarios, en los tipos II y IV tienen el mismo signo.

B) Cálculo de los elementos de la curva parabólica. Los elementos de una curva vertical son los mostrados en la Figura 8.3 y se calculan como sigue:

1 Longitud Es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV. Existen cuatro criterios para determinar la longitud de las curvas, que son:

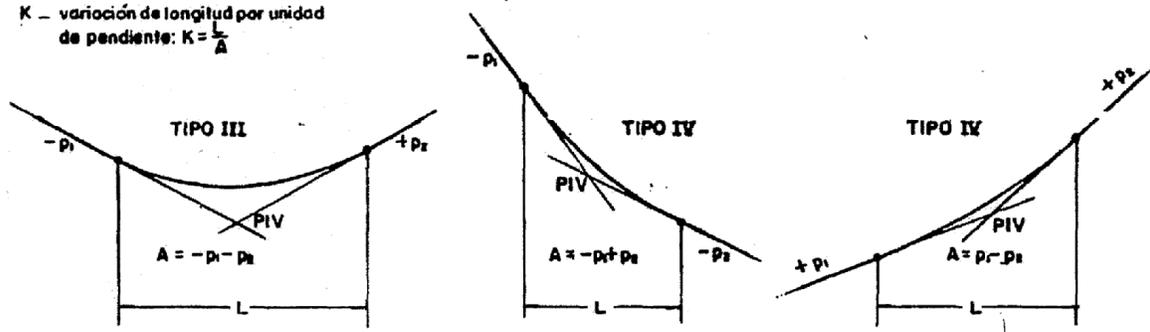
- a) Criterio de comodidad. Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrífuga no exceda a 0.305 m/seg² o sea que:

$$a_0 = \frac{V^2}{R} \leq 0.305 \text{ m/seg}^2 \quad R \geq 3.28V^2$$



p_1 - pendiente de entrada.
 p_2 - pendiente de salida.
 A - diferencia de pendientes
 L - Longitud de la curva.
 K - variación de longitud por unidad de pendiente: $K = \frac{L}{A}$

CURVAS VERTICALES EN CRESTA



CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO.

FIGURA 8.2 TIPOS DE CURVAS VERTICALES

Si se asimila la parábola a un círculo, se tendrá:

$$L = R\Delta \quad \text{y} \quad \Delta = A$$

por lo que:

$$L \geq 3.28V^2\Delta$$

y también:

$$L \geq 3.28V^2A$$

y si se expresa V en km/h y A en por ciento:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

siendo K el recíproco de la variación de pendiente por unidad de longitud.

- b) Criterio de apariencia. Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, o sea a las curvas en columpio, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHO ha determinado que:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30$$

- c) Criterio de drenaje. Se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o en columpio, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. Se ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \geq 43$$

- d) Criterio de seguridad. Se aplica a curvas en cresta y en columpio. La longitud de curva debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. En algunos casos, el nivel e servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase. En el Capitulo V se dedujeron las expresiones que permiten calcular la longitud de las curvas verticales, tanto para distancia de visibilidad de parada como de rebase. Estas expresiones son:

Para curvas en cresta:

$$D > L \quad L = 2D - \frac{C_1}{A}$$

$$D < L \quad L = \frac{AD^2}{C_1}$$

Para curvas en columpio:

$$D > L \quad L = 2D - \frac{C_2 + 3.5D}{A}$$

$$D < L \quad L = \frac{AD^2}{C_2 + 3.5D}$$

En donde:

L = Longitud de la curva vertical, en m.

D = Distancia de visibilidad de parada o de rebase, en m.

A = Diferencia algebraica de pendientes, en por ciento.

C1, C2 = Constantes que dependen de la altura del ojo del conductor o altura de los faros y de la altura del obstáculo o altura del vehículo.

El valor de las constantes para el vehículo considerado se indica en el cuadro siguiente:

CONSTANTE	PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
	De parada	De rebase
C ₁	425	1 000
C ₂	120	—

Las curvas diseñadas para distancia de visibilidad de rebase resultan de gran longitud y sólo deberán proyectarse cuando no se afecte el costo del camino más allá de lo permisible o donde lo amerite el nivel de servicio. Se establece un valor mínimo para la longitud de curva, dado por la expresión empírica:

$$L = 0.6V$$

en donde L es la longitud mínima de la curva en m y V la velocidad de proyecto en Km/h.

Para proyecto, el criterio a seguir debe ser el de seguridad, que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia sólo debe emplearse en caminos de tipo muy especial. Por otra parte, el drenaje siempre debe resolverse, sea con la longitud de curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas. En las gráficas de las figuras 004.6 y 004.7 se obtienen las longitudes de curvas según el criterio de seguridad para satisfacer el requisito de distancia de visibilidad de parada y la longitud mínima de curva, empleando las fórmulas correspondientes a la condición $D < L$, que representa el caso más crítico. La longitud obtenida en las gráficas debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior.

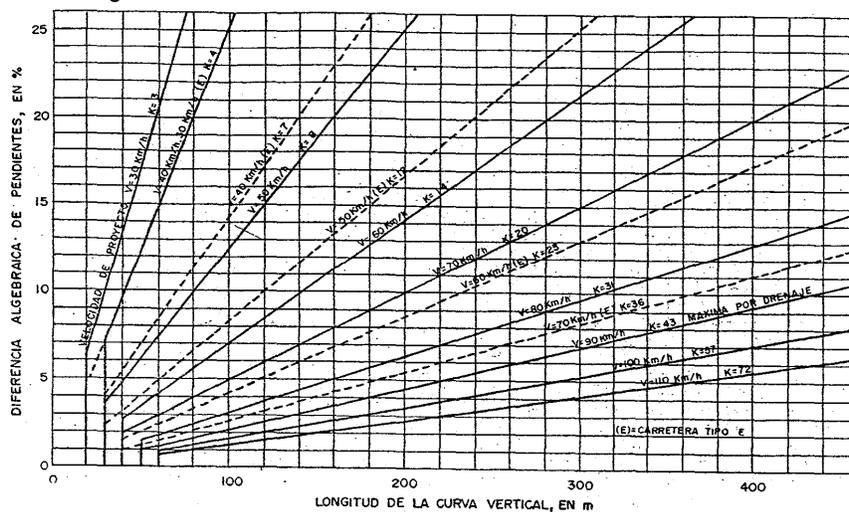


FIGURA 004.6 LONGITUD DE CURVAS VERTICALES EN CRESTA PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

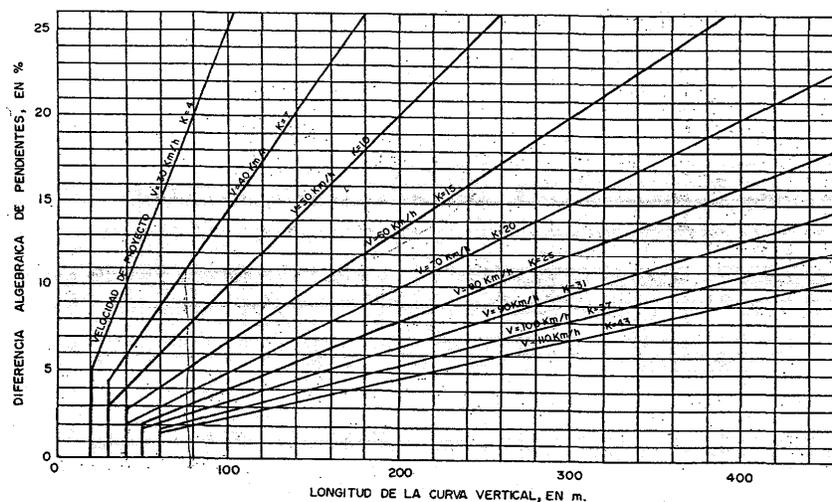


FIGURA 004.7 LONGITUD DE CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Las curvas verticales serán parábolas de eje vertical y están definidas por su longitud y por la diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales que unen.

a) Longitud Mínima:

01) La longitud mínima de las curvas verticales se calculará con la expresión:

$$L = KA$$

En donde:

L = Longitud mínima de la curva vertical, en metros..

K = Parámetro de la curva cuyo valor mínimo se especifica en la tabla (0014—3)

A= Diferencia algebraica de las pendientes de las tangentes verticales, en por ciento

02) La longitud mínima de las curvas verticales en ningún caso deberá ser menor a lo indicado en la tabla (004—3) y a la mostrada en las figuras (004.6) y (004.7)

b) Longitud Máxima — No existirá límite de longitud máxima para las curvas verticales. En el caso de curvas verticales en cresta con pendiente de entrada y salida de signos contrarios, se deberá revisar el drenaje cuando a la longitud de la curva proyectada corresponda un valor del parámetro K superiora

43.

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	VALORES DEL PARAMENTO k(m/%)				LONGITUD ACEPTABLE	MINIMA (m)
	CURVAS EN CRESTA		CURVAS EN COLUMPIO			
	CARRETERA E	T I P O D, C, B, A	CARRETERA E, D, C, B, A	T I P O		
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	

TABLA 004—3 VALORES MINIMOS DEL PARAMENTO K Y DE LA LONGITUD MININA ACEPTABLE DE LAS CURVAS VERTICALES.

2. Pendiente en un punto cualquiera de la curva. Para determinar está pendiente P, se parte de la propiedad de la parábola de que la variación de pendiente a lo largo de ella respecto a su longitud, es uniforme. Puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{P_1 - P}{l} \qquad \frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{P_1 - P}{l}$$

$$P = P_1 - \frac{Al}{L}$$

En donde:

P, P1, P2 y A están expresados en por ciento y l y L en metros.

3. Pendiente de la cuerda a un punto cualquiera. Para determinar esta pendiente simbolizada como P' se hace uso de la propiedad de la parábola de que la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda.

Esto es:

$$P' = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

y teniendo en cuenta que:

$$P = P_1 - \frac{Al}{L}$$

$$P' = \frac{P_1}{2} + \frac{1}{2} \left(P_1 - \frac{Al}{L} \right)$$

de donde:

$$P' = P_1 - \frac{Al}{2L}$$

4. Desviación respecto a la tangente. Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, llamada t; para determinarla se aprovecha la propiedad de la parábola que establece:

$$t = al^2$$

pero en el PTV:

$$t' = aL^2$$

Finalmente: $t = \frac{A}{200L} l^2$

5. Externa. Es la distancia entre el PIV y la curva, medida verticalmente; se le representa como E.

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

6. Flecha. Es la distancia entre la curva y la cuerda PCV-PTV, medida verticalmente; se representa como f.

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

7. Elevación de un punto cualquiera de la curva Z. De la Figura 8.3

$$Z_n = Z_0 + \frac{P_1 l}{100} - t$$

Substituyendo el valor de t y agrupando:

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P_1}{100} - \frac{Al}{200L} \right) l$$

y expresando a l y L en estaciones de 20 m, y llamando n y N a las longitudes l y L en estaciones, se tendrá:

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{Al}{10N} n \right) n$$

Esta expresión se emplea para calcular las elevaciones de la curva vertical. El cálculo con esta fórmula tiene la ventaja de su simplicidad, pero la desventaja de que no es autocombprobante, puesto que un error en una elevación intermedia no se refleja en la elevación del punto final. Un artificio para hacer el cálculo comprobable es el siguiente:

Puede establecerse:

$$Z_{n-1} = Z_0 + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} (n-1) \right) (n-1)$$

restando esta ecuación de la ecuación para el punto n:

$$Z_n - Z_{n-1} = \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} n \right) n - \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} (n-1) \right) (n-1)$$

y efectuando operaciones y simplificando :

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} (2n-1)$$

Expresión que permite hacer un cálculo autocombprobante, si bien algo más elaborado que con la expresión anterior.

El alineamiento vertical se determina en forma de pendiente, lo cual significa un ascenso o descenso en cada estación, para efectuar lo anterior se usan curvas parabólicas en el trazo, principalmente porque dichas curvas pueden calcularse en forma adecuada, los resultados de los cálculos de las curvas verticales se dan como cotas o elevaciones.

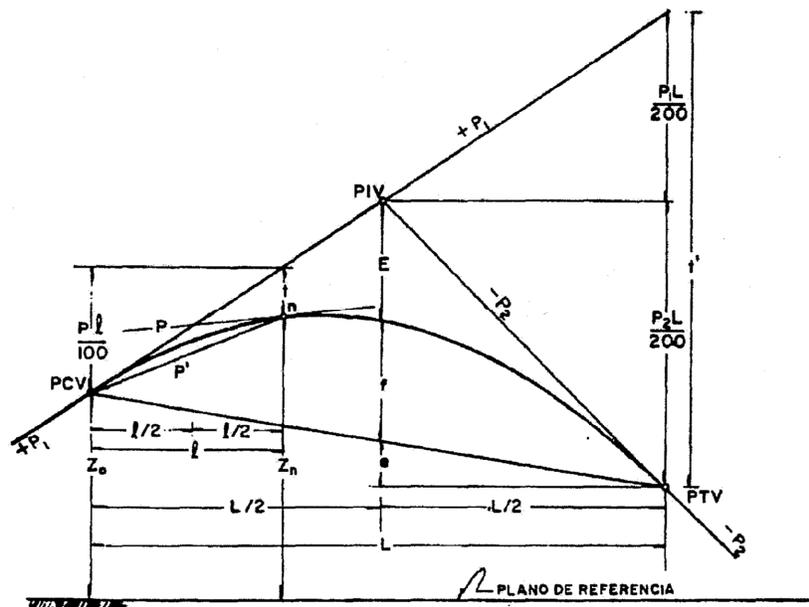


Imagen 4.2. Elementos de las curvas verticales

Elementos de la curva vertical

PIV; Punto de intersección de las tangentes

PCV;	Punto en donde comienza la curva vertical
PTV;	Punto donde termina la curva vertical
n;	Punto cualquiera sobre la curva vertical
PI;	Pendiente de la tangente de entrada en por ciento
P2;	Pendiente de la tangente de salida en por ciento
P;	Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.
P';	Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento
A;	Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y salida
L;	Longitud de la curva
E;	Externa
f;	flecha
l;	Longitud de curva a un punto cualquiera
t;	desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera
K;	Variación de longitud por unidad de pendiente, $K=L/A$
Zo;	Elevación del PCV
Zn;	Elevación de un punto cualquiera

Para la obtención de la longitud de las curvas verticales se utiliza la siguiente ecuación:

$$LCV=K|P_e-P_s|$$

LCV; Longitud de curva vertical

K; Constante de cresta o columpio

P_e ; Pendiente de entrada

P_s ; Pendiente de salida

El valor de la constante K, se obtiene de tablas y dicho valor depende de la velocidad de proyecto y además se debe considerar si se trata de cresta o columpio, después de tener el valor de la longitud vertical, se ajusta dicho valor de tal forma que sea múltiplo de 20.

Con relación al alineamiento vertical, se procurará observar lo siguiente:

- Se proyectarán alineamientos con cambios de pendientes suaves, en vez de tangentes verticales con variaciones bruscas de pendiente. Los controles para el proyectista son la pendiente gobernadora, la pendiente máxima y su longitud crítica, que siempre que sea posible se escogerán menores a los máximos especificados.
- Cuando para salvar desniveles apreciables se disponga de tangentes verticales con pendientes escalonadas, se procurará poner las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.
- Es preferible un perfil escalonado, en lugar de una pendiente. Sostenida, Para proyectar este tipo de alineamiento deben tomarse en cuenta los conceptos de pendiente gobernadora, pendiente máxima y longitud crítica de pendiente.

- d) El alineamiento vertical deberá prever el espacio para alojar las obras de drenaje u otra estructura que se requiera.
- e) Se debe evitar que la cima de un columpio quede alojada en corte o balcón a menos que se justifique económicamente.
- f) Los alineamientos verticales que tienen sucesivamente curvas pronunciadas en cresta y en columpio, suelen presentarse en alineamientos horizontales rectos en donde el alineamiento vertical sigue sensiblemente el perfil del terreno, resultando caminos anti estéticos y peligrosos en las maniobras de rebase. Estos perfiles pueden evitarse introduciendo cierta curvatura horizontal y/o suavizando las pendientes con algunos cortes y terraplenes. Esta recomendación es particularmente aplicable a caminos con altos volúmenes de tránsito.
- g) Siempre que económicamente sea posible, se procurará que la longitud de las curvas verticales sea mayor que la mínima, aún para bajas velocidades de proyecto.
- h) Deberá evitarse el proyecto de curvas verticales sucesivas con la misma concavidad o convexidad, con tangentes intermedias muy cortas; esta recomendación es particularmente aplicable a curvas en columpio.
- i) Cuando el terreno lo permita y no se incremente sensiblemente el costo de construcción las curvas verticales deberán proyectarse para satisfacer las distancias de visibilidad de rebase.
- j) Cuando el desnivel a vencer obliga a mantener una pendiente en tramos de gran longitud o en longitudes superiores a la crítica, puede proyectarse un carril de ascenso adicional, si el nivel de servicio deseado lo justifica.
- k) Cuando esté previsto el proyecto de un entronque a nivel en tangentes con pendiente, que afecte sensiblemente la incorporación o desincorporación, se procurará disminuir la pendiente en la zona del entronque.

Con relación a la combinación del alineamiento horizontal con el vertical, se procurará observar lo siguiente:

- a) En alineamientos verticales que originen terraplenes altos y largos son deseables alineamientos horizontales rectos o de muy suave curvatura.
- b) Los alineamientos horizontal y vertical deben estar balanceados, las tangentes o las curvas horizontales suaves en combinación con pendientes fuertes y curvas verticales cortas, o bien una curvatura excesiva con pendientes suaves corresponden a diseños pobres. Un diseño apropiado es aquel que combina ambos alineamientos ofreciendo el máximo de seguridad, capacidad, facilidad y uniformidad en la operación, además de una apariencia agradable dentro de las restricciones impuestas por la topografía.
- c) Cuando el alineamiento horizontal está constituido por curvas con grados menores al máximo, se recomienda proyectar curvas verticales con longitudes mayores que las mínimas especificadas siempre que no se incremente considerablemente el costo de construcción de la carretera.
- d) Conviene evitar la coincidencia de la cima de una curva vertical en cresta con el inicio o terminación de una curva horizontal.
- e) Debe evitarse proyectar la cima de una curva vertical en columpio en o cerca de una curva horizontal.
- f) En general, cuando se combinen, curvas verticales y horizontales, o una esté muy cerca de la otra, debe procurarse que la curva vertical esté fuera de la curva horizontal o totalmente incluida en ella, con las salvedades mencionadas.
- g) Los alineamientos deben combinarse para lograr el mayor número de tramos con distancias de visibilidad de rebase.
- h) En donde esté previsto el proyecto de un entronque, los alineamientos deben ser lo más suave posible.

La propuesta del alineamiento vertical, fue hecha por el Ingeniero con mayor experiencia en estos proyectos y a mí solo me tocó la captura los datos de pendiente, longitud de curva y cadenas del PIV, en el programa de la SCT, el cual nos permite procesar dicha información y generar el trazo de la subrasante, con sus respectivos PCV y PTV.

IV.3 Proyecto de la subrasante

DURACION: 15 DIAS

PERSONAL QUE PARTICIPA:

MANO DE OBRA	NUMERO DE PERSONAS	JORNADA
DIRECTOR RESPONSABLE	1	15
GERENTE DE PROYECTO	1	15
AUXILIAR DE PROYECTO	1	15
CALCULISTA	1	15
CAPTURISTA	1	15

EQUIPO UTILIZADO:

COMPUTADORA HP VECTRA



IMPRESORA HP LASERJET4P

El costo de construcción, parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un camino, está gobernado por los movimientos de terracerías. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean los más económicos, dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicos se le conoce como subrasante económica. En este tema se darán los lineamientos que el proyectista debió seguir para obtener la subrasante que corresponde a un proyecto económico.

Al iniciarse el estudio de la subrasante en un tramo se deben analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales del terreno, los datos relativos a la calidad de los materiales y la elevación mínima que se requiere para dar cabida a las estructuras, refiriéndome a estructuras a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel de las probables obras de drenaje.

La subrasante económica es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose por esto, la suma de las erogaciones ocasionadas durante la construcción y por la operación y conservación del camino una vez abierto al tránsito. No obstante, en lo que sigue se tratará la forma de encontrar la subrasante económica determinándola únicamente por el costo de construcción, por ser este concepto el que generalmente presenta variaciones sensibles. Bajo este aspecto, para el proyecto de la subrasante económica hay que tomar en cuenta que:

1. La subrasante debe cumplir con las Especificaciones de Proyecto Geométrico dadas.
2. En general, el alineamiento horizontal es definitivo, pues todos los problemas inherentes a él han sido previstos en la fase de anteproyecto. Sin embargo habrá casos en que se requiera modificarlo localmente.

3 La subrasante a proyectar debe permitir alojar las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel y su elevación debe ser la necesaria para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causadas por zonas de inundación o humedad excesiva en el terreno natural.

Los elementos que definen el proyecto de la subrasante y que fueron considerados por el proyectista son:

- a) Condiciones topográficas
- b) Condiciones geotécnicas
- c) Subrasante mínima
- d) Costo de la terracerías

A) Condiciones topográficas. De acuerdo con su configuración se consideran los siguientes tipos de terreno plano, lomerío y montañoso

Se estima que la definición de estos tres conceptos debe estar íntimamente ligada con las características que cada uno de ellos imprime al proyecto, tanto en los alineamientos horizontal y vertical como en el diseño de la sección de construcción.

Se considera terreno plano, aquel cuyo perfil acusa pendientes longitudinales uniformes y de corta magnitud, con pendiente transversal escasa o nula. Como lomerío, se considera al terreno cuyo perfil longitudinal presenta en sucesión, cimas y depresiones de cierta magnitud, con pendiente transversal no mayor de 45%. Como montañoso se considera al terreno que ofrece pendientes transversales mayores de 45%, caracterizado por accidentes topográficos notables y cuyo perfil obliga a fuertes movimientos de tierra.

En terreno plano el proyecto de la subrasante será generalmente en terraplén, sensiblemente paralelo al terreno, con la altura suficiente para quedar a salvo de la humedad propia del suelo y de los escurrimientos laminares en él, así como para dar cabida a las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel. En este tipo de configuración, la compensación longitudinal] o transversal de las terracerías se presenta excepcionalmente, como consecuencia, los terraplenes estarán formados con material producto de préstamo ya sea lateral o de banco. El proyecto de tramos con visibilidad de rebase generalmente no presenta ninguna dificultad, tanto por lo que respecta al alineamiento horizontal como al vertical.

En un terreno considerado como lomerío, el proyectista estudiara la subrasante combinando las pendientes especificadas, obteniendo un alineamiento vertical ondulado, que en general permitirá aprovechar el material producto de los cortes, para formar los terraplenes contiguos. El proyecto de la subrasante a base de contrapendientes, la compensación longitudinal de las terracerías en tramos de longitud considerable, el hecho de no representar problema dejar el espacio vertical necesario para alojar las alcantarillas, los pasos a desnivel y puentes, son características de este tipo de terreno. Asimismo, cuando se requiere considerar la distancia de visibilidad de rebase en el proyecto del alineamiento vertical, se ocasiona un incremento en el volumen de tierras a mover.

En terreno montañoso, como consecuencia de la configuración topográfica, la formación de las terracerías se obtiene mediante la excavación de grandes volúmenes, el proyecto de la subrasante queda generalmente condicionado a la pendiente transversal del terreno y el análisis de las secciones transversales en zonas críticas o en balcón. Cuando a causa de la excesiva pendiente transversal del terreno haya necesidad de alojar en firme la corona del camino, la elevación de la subrasante debe estudiarse considerando la construcción de muros de contención o de viaductos, con el objeto de obtener el menor costo del tramo. En ocasiones, el proyecto de un túnel puede ser la solución conveniente.

Son características del terreno montañoso el empleo frecuente de las especificaciones máximas, tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical, la facilidad de disponer del espacio libre para dar cabida a alcantarillas y puentes, la presencia en el diagrama de masas de una serie de desperdicios interrumpidos por pequeños tramos compensados, la frecuencia de zonas críticas, los grandes volúmenes de tierras a mover, la necesidad de proyectar alcantarillas de alivio y el alto costo de construcción resultante, si se quiere considerar en el proyecto la distancia de visibilidad de rebase.

Dada la íntima liga que existe entre los alineamientos horizontal y vertical en todos los casos antes descritos, especialmente en el último, es necesario que al proyectar el alineamiento horizontal se tomen en cuenta los problemas que afectan el estudio económico de la subrasante.

B) Condiciones geotécnicas. La calidad de los materiales que se encuentran en la zona en donde se localiza el camino, es factor muy importante para lograr el proyecto de la subrasante económica, ya que además del empleo que tendrán en la formación de las terracerías, servirán de apoyo al camino. La elevación de la subrasante está limitada en ocasiones por la capacidad de carga del suelo que servirá de base al camino.

Por la dificultad que ofrecen a su ataque, las Especificaciones Generales de Construcción de la SCT, clasifican a los materiales de terracerías como A, B y C, por el tratamiento que van a tener en la formación de los terraplenes, los clasifican en materiales compactables y no compactables.

Un suelo se clasifica como Material A, cuando puede ser atacado con facilidad mediante pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica de cualquier capacidad, además, se consideran como Material A, los suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 75 centímetros, como Material B, el que requiere ser atacado mediante arado o explosivos ligeros, considerándose además como Material B, las piedras sueltas mayores de 7.5 y menores de 75.0 centímetros. Finalmente, el Material C, es el que solamente puede ser atacado mediante explosivos, requiriendo para su remoción el uso de pata mecánica de gran capacidad

Un material se considera compactable cuando es posible controlar su compactación por alguna de las pruebas de laboratorio usuales en la técnica S.O.P. En caso contrario se considera no compactable, aun cuando se reconozca que estos materiales puedan ser sujetos a un proceso de compactación en el campo Al material llamado no compactable, generalmente producto de los cortes y excepcionalmente obtenido de los préstamos, se le aplica el tratamiento de bandeado al emplearse en la formación de los terraplenes, tratamiento que tiene por objeto lograr un mejor acomodo de los fragmentos, reduciendo los vacíos u oquedades mediante el empleo del equipo de construcción adecuado. Dentro de este grupo quedan incluidos los materiales clasificados como C, y aquellos cuya clasificación B es debida a la presencia de fragmentos medianos y grandes.

Para el proyecto de la subrasante se deben conocer principalmente las propiedades de los materiales que intervendrán en la formación de las terracerías, los datos relativos a su clasificación para fines de presupuesto y el tratamiento a darles.

C) Subrasante mínima. La elevación mínima correspondiente a puntos determinados del camino, a los que el estudio de la subrasante económica debe sujetarse, define en esos puntos el proyecto de la subrasante mínima. Los elementos que fijan estas elevaciones mínimas son:

1. Obras menores
2. Puentes
3. Zonas de Inundación
4. Intersecciones.

1. Obras menores. Para lograr la economía deseada y no alterar el buen funcionamiento del drenaje, es necesario que el estudio de la subrasante respete la elevación mínima que requiere el proyecto de las alcantarillas. Esto es determinante en terrenos planos, pues en terrenos considerados como de lomerío y montañoso, solamente en casos aislados habrá que tomar en cuenta la elevación mínima, ya que el proyecto de la subrasante estará obligado por las condiciones que este tipo de configuración topográfica impone y generalmente habrá espacio vertical suficiente para dar cabida a las obras menores.

La metodología para encontrar la elevación a la cual debe sujetarse la subrasante, está en función de las características propias de la alcantarilla y de la sección de construcción, principalmente la elevación del desplante, la pendiente según el eje de la obra, el colchón mínimo, el ángulo de esviajamiento, la altura de la obra hasta su coronamiento, el ancho de la semicorona, y las pendientes longitudinal y transversal de la obra.

2. Puentes. Aun cuando en los cruces de corrientes que hacen necesaria la construcción de puentes, la elevación definitiva de la subrasante no será conocida hasta que se proyecte la estructura, es necesario tomar en consideración los elementos que intervienen para definir la elevación mínima, con el objeto de que el proyecto del alineamiento vertical se aproxime lo más posible a la cota que se requiere.

Para lograr lo anterior se debe contar con los siguientes datos:

- a) Elevación del nivel de aguas máximas extraordinarias.
- b) Sobreelevación de las aguas ocasionada por el estrechamiento que origina el puente en el cauce.
- c) Espacio libre vertical necesario para dar paso a cuerpos flotantes.
- d) Peralte de la superestructura.

La suma de los valores de estos elementos determina la elevación mínima de rasante necesaria para alojar el puente, de la cual habrá que deducir el espesor de pavimento para obtener la elevación de la subrasante.

En caminos de poco tránsito localizados en zonas en donde las avenidas máximas extraordinarias se presentan con poca frecuencia y duración, el proyecto de vados suele suplir al de puentes. La elección del tipo de obra está supeditada al régimen de la corriente, así como al estudio comparativo de costos de las alternativas que se presenten.

3. Zonas de inundación. El paso de un camino por zonas de inundación obliga a guardar cierta elevación de la subrasante que se fija de acuerdo con el nivel de aguas máximas extraordinarias, con la sobreelevación de las aguas producida por el obstáculo que a su paso presentará el camino y con la necesidad de asegurar la estabilidad de las terracerías y del pavimento. En estos casos se recomienda que la elevación de la subrasante sea como mínimo un metro arriba del nivel de aguas máximas extraordinarias, estando el dato preciso en función de las características de la zona inundable.

4. Intersecciones. Los cruces que un camino tiene con otras vías de comunicación terrestre, ya sean en proyecto o existentes, dan lugar a intersecciones que pueden ser a nivel o a desnivel. En este caso el proyecto de la subrasante deberá considerar la vía terrestre que se cruce.

En las intersecciones a desnivel; se hará un estudio económico para determinar si conviene sea inferior o superior el paso del camino que se está proyectando. Para fijar la elevación de la subrasante económica se sigue una metodología semejante a la ya

explicada para el caso de obras menores, tomando en consideración además, para el caso de los entronques, que deberán estudiarse los enlaces con los caminos que originan el cruce.

D) Costo de las terracerías. La posición que debe guardar la subrasante para obtener la economía máxima en la construcción de las terracerías, depende de los siguientes conceptos:

1. Costos unitarios:

Excavación en corte.

Excavación en préstamo.

Compactación en el terraplén del material de corte.

Compactación en el terraplén del material de préstamo.

Sobreacarreo del material de corte a terraplén.

Sobreacarreo del material de corte a desperdicio

Sobreacarreo del material de préstamo a terraplén.

Costo del terreno afectado para préstamo, desmonte y despilme, dividido entre el volumen de terracerías extraído del mismo.

2. Coeficientes de variabilidad volumétrica:

Del material de corte.

Del material de préstamo.

3. Relaciones:

Entre la variación de los volúmenes de corte y terraplén, al mover la subrasante de su posición original

Entre los costos unitarios de terraplén formado con material producto de corte y con material obtenido de préstamo.

Entre los costos que significa el acarreo del material de corte para formar el terraplén y su compactación en este y el que significa la extracción del material de corte y el acarreo para desperdiciarlo.

4. Distancia económica de sobreacarreo:

El empleo del material producto de corte en la formación de terraplenes, está condicionado tanto a la calidad del material como a la distancia hasta la que es económicamente posible su transporte. Esta distancia está dada por la ecuación:

$$DME = \frac{(P_p + ad) - P_c}{P_{sa}} + AL$$

en donde:

D M E = Distancia máxima de sobreacarreo económico.

ad = Costo unitario de sobreacarreo del material de corte de desperdicio.

Pc = Precio unitario de la compactación en el terraplén del material producto del corte.

AL = Acarreo libre del material, cuyo costo está incluido en el precio de excavación.

Pp = Costo unitario de terraplén formado con material producto de préstamo.

Psa = Precio unitario del sobreacarreo del material de corte.

Como se verá más adelante en movimientos de terracerías, en estos elementos se basa fundamentalmente el estudio del diagrama de masas.

IV.4 Sección Transversal

La sección transversal de un camino en un punto cualquiera de éste es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Los elementos que integran y definen la sección transversal son: la corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes y a veces hay partes complementarias. En la Figura 9.1 se muestra una sección transversal típica de un camino en una tangente del alineamiento horizontal.

La Corona es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

A) Rasante. La rasante es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal está representada por un punto.

B) Pendiente transversal. Es la pendiente que se da a la corona normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presentan tres casos:

1. Bombeo.
2. Sobreelevación.
3. Transición del bombeo a la sobreelevación.

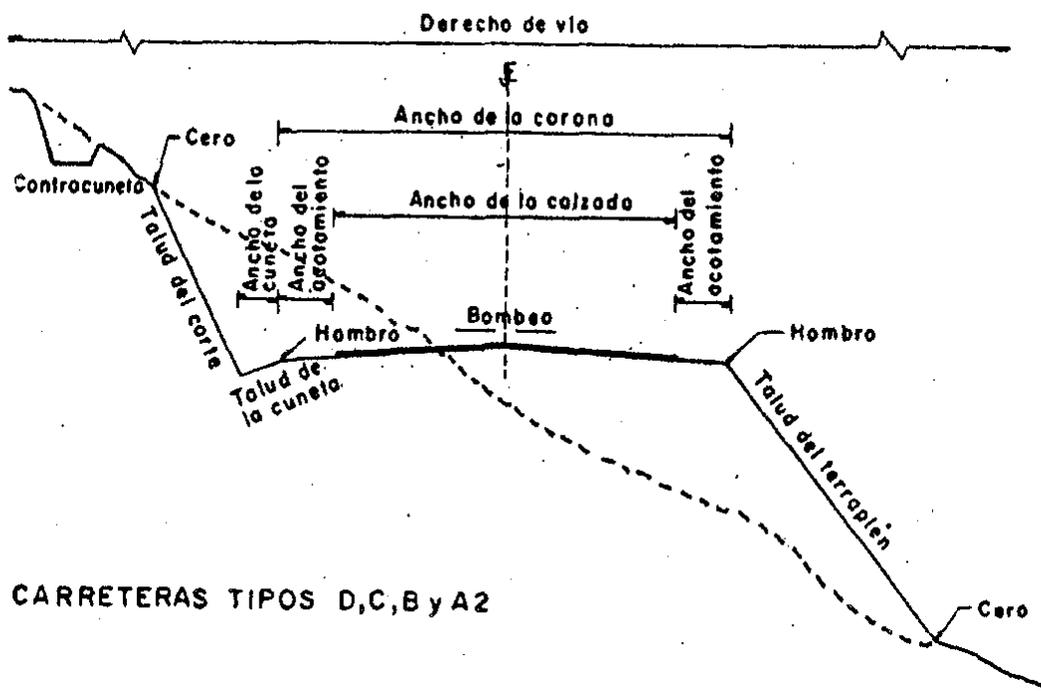


FIG. 9.1 SECCION TRANSVERSAL EN TANGENTE DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL PARA CARRETERAS TIPOS D,C,B y A2

1. Bombeo. El bombeo es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad o inseguridad.

2. Sobreelevación. La sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

La expresión para calcular la sobreelevación necesaria en una curva circular, es:

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R} - \mu$$

en donde:

S = Sobreelevación, en valor absoluto.

V = Velocidad del vehículo, en km/h.

R = Radio de la curva, en m.

μ = Coeficiente de fricción lateral.

Con la expresión anterior puede calcularse la sobreelevación necesaria para que no deslice un vehículo que circule por la curva a una velocidad dada; sin embargo, algunos problemas relacionados con la construcción, operación y conservación de la carretera, han mostrado la necesidad de fijar una sobreelevación máxima, admitiéndose cuatro valores. Se usa una sobreelevación máxima de 12% en aquellos lugares en donde no existen heladas ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados en la corriente de tránsito es mínimo, se usa 10% en los lugares en donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados, se usa 8% en zonas en donde las heladas o nevadas son frecuentes y, finalmente, se usa 6% en zonas urbanas.

3. Transición del bombeo a la sobreelevación. En el alineamiento horizontal, al pasar de una sección en tangente a otra en curva, se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva, este cambio se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición. Cuando la curva circular no tiene espirales de transición, la transición de la sobreelevación puede efectuarse sobre las tangentes contiguas a la curva, sin embargo, esta solución tiene el defecto de que al dar la sobreelevación en las tangentes, se obliga al conductor a mover el volante de su vehículo en sentido contrario al de la curva para no salirse del camino, esta maniobra puede ser molesta y peligrosa, por lo cual se recomienda para este caso, dar parte de la transición en las tangentes y parte sobre la curva circular. Se ha determinado empíricamente que las transiciones pueden introducirse dentro de la curva circular hasta en un cincuenta por ciento, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con sobreelevación completa.

La consideración anterior limita la longitud mínima de la tangente entre dos curvas circulares consecutivas de sentido contrario que no tengan espirales de transición, esa longitud debe ser igual a la semisuma de las longitudes de transición de las dos curvas. Para pasar del bombeo a la sobreelevación, se tienen tres procedimientos. El primero consiste en girar la sección sobre el eje de la corona, el segundo en girar la sección sobre la orilla interior de la corona y el tercero en girar la sección sobre la orilla exterior de la corona. El primer procedimiento es el más conveniente, ya que requiere menor longitud de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes, los otros dos métodos tienen desventajas y sólo se emplean en casos especiales.

Cuando la curva no tiene espirales de transición y se introduce la transición de la sobreelevación dentro de la curva circular, la sobreelevación en el PC es menor que la requerida teóricamente; este aparente defecto se elimina al considerar que el vehículo

no puede cambiar de radio de giro instantáneamente, por lo que en el PC tendrá necesariamente un radio de giro mayor y por tanto se requiere una sobreelevación menor.

C) Calzada. La calzada es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.

El ancho de calzada es variable a lo largo del camino y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical. Normalmente el ancho de calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal.

1. Ancho de calzada en tangente. Para determinar el ancho de calzada en tangente debe establecerse el nivel de servicio deseado al final del plazo de previsión o en un determinado año de la vida del camino, con este dato y los estudios económicos correspondientes, pueden determinarse el ancho y número de carriles, de manera que el volumen de tránsito en ese año no exceda el volumen correspondiente al nivel de servicio prefijado. Los anchos de carril usuales son 2.75 m, 3.05 m, 3.35 m y 3.65 m y normalmente se proyectan dos, cuatro o más carriles, sin embargo, cuando el volumen de tránsito es muy bajo, de 75 vehículos por día o menos, pueden proyectarse caminos de un carril para las dos direcciones de tránsito, con un ancho de 4.50 m. En tangentes del alineamiento vertical con fuerte pendiente longitudinal, puede ser necesario ampliar la calzada mediante la adición de un carril para que por él transiten los vehículos lentos, mejorando así la capacidad y el nivel de servicio. El ancho y la longitud de ese carril se determina mediante un análisis de operación de los vehículos.

2. Ancho de calzada en curvas del alineamiento horizontal. Cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal, ocupa un ancho mayor que cuando circula sobre una tangente y el conductor experimenta cierta dificultad para mantener su vehículo en el centro del carril, por lo que se hace necesario dar un ancho adicional a la calzada respecto al ancho en tangente. A este sobreancho se le llama ampliación, la cual debe darse tanto a la calzada como a la corona.

1) Acotamientos. Los acotamientos son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino. Tienen como ventajas principales las siguientes:

1. Dar seguridad al usuario del camino al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que puede eludir accidentes potenciales o reducir su severidad, pudiendo también estacionarse en ellos en caso obligado.
2. Proteger contra la humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.
3. Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, sobre todo cuando el camino va en corte.
4. Facilitar los trabajos de conservación.
5. Dar mejor apariencia al camino.

El ancho de los acotamientos depende principalmente del volumen de tránsito y del nivel de servicio a que el camino vaya a funcionar.

El color, textura y espesor de los acotamientos, dependerá de los objetivos que se quiera lograr con ellos y su pendiente transversal será la misma que la de la calzada.

En tangentes del alineamiento horizontal el ancho de la corona para cada tipo de carretera y de terreno, deberá ser el especificado en la tabla (0014—4).

TIPO DE CARRETERA		ANCHOS DE				
		CORONA (m)	CALZADA (m)	ACOTAMIENTOS (m)	FAJA SEPARADORA CENTRAL (m)	
E		4.00	4.00	-	-	
D		6.00	6.00	-	-	
C		7.00	6.00	0.50	-	
B		9.00	7.00	1.00	-	
A	(A2)	12.00	7.00	2.50	-	
	(A4)	22.00 mínimo	2 x 7.00	EXT 3.00	INT 0.50 *	1.00 mínimo
	(A4S)	2 x 11.00	2 X 7.00	3.00	1.00	8.00 mínimo

*Deberá prolongarse la carpeta hasta la guarnición

Tabla 004-4 Anchos de Corona, de Calzada, de Acotamientos y de la faja separadora central

En curvas y transiciones del alineamiento horizontal el ancho de la corona deberá ser la suma de los anchos de la calzada, de los acotamientos y en su caso, de la faja separadora central.

Calzada. El ancho de la calzada deberá ser:

- En tangente del alineamiento horizontal, el especificado en la tabla (0014-4).
- En curvas circulares del alineamiento horizontal, el ancho en tangente más una ampliación en el lado interior de la curva circular, cuyo valor se especifica en las tablas (004-6) y (004-7).

Acotamientos.- El ancho de los acotamientos deberá ser para cada tipo de carretera y tipo de terreno, según se indica en la Tabla (00-4).

Pendiente Transversal. En tangentes del alineamiento horizontal el bombeo de la corona deberá ser:

- De menos dos por ciento (-2%) en carreteras Tipo "A", "B", "C" y "D" pavimentadas.
- De menos tres por ciento (-3%) en carreteras Tipo "D" y "E" revestidas.

En curvas circulares del alineamiento horizontal, la sobreelevación de la corona deberá ser:

- De diez por ciento (10%) para el grado máximo de curvatura correspondiente a cada velocidad de proyecto.
- Igual a los valores indicados en las tablas (004-6), (004-7) para grados de curvatura inferiores al grado máximo correspondiente a cada velocidad de proyecto.

La Subcorona es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En sección transversal es una línea.

Se entiende por terracerías, el volumen de material que hay que cortar o terraplenar para formar el camino hasta la subcorona. La diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona, define los espesores de corte o terraplén en cada punto de la sección A los puntos intermedios en donde esa diferencia es nula, se les llama puntos de paso y a las líneas que unen esos puntos en un tramo del camino, línea de paso A los puntos extremos de la sección donde los taludes cortan al terreno natural, se les llama ceros y a las líneas que los unen a lo largo del camino, líneas de ceros.

Se entiende por pavimento, a la capa o capas de material seleccionado y/o tratado, comprendidas entre la subcorona y la corona, que tiene por objeto soportar las cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de manera que los esfuerzos transmitidos a la capa de terracerías subyacente a la subcorona, no le causen deformaciones perjudiciales, al mismo tiempo proporciona una superficie de rodamiento adecuada al tránsito. Los pavimentos generalmente están formados por la sub-base, la base y la carpeta, definiendo esta última la calzada del camino.

Los elementos que definen la subcorona y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción del camino, son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

A) Subrasante. La subrasante es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.

B) Pendiente transversal. La pendiente transversal de la subcorona es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el espesor del pavimento. Puede ser bombeo o sobreelevación, según que la sección esté en tangente, en curva o en transición.

C) Ancho. El ancho de subcorona es la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes del terraplén, cuneta o corte. Este ancho está en función del ancho de corona y del ensanche. El ensanche es el sobreaancho que se da a cada lado de la subcorona para que, con los taludes de proyecto, pueda obtenerse el ancho de corona después de construir las capas de base y sub-base; es función del espesor de base y sub-base, de la pendiente transversal y de los taludes.

D) Ampliación y sobreelevación en transiciones. Para calcular las ampliaciones y sobreelevaciones de la subcorona en las curvas y transiciones del alineamiento horizontal, se hace uso de los principios y recomendaciones establecidos en este tema, sin embargo, dada su importancia en el proyecto de las secciones de construcción, se establecerá más adelante la metodología de cálculo

Las Cunetas y Contracunetas son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la sección transversal.

A) Cunetas. Las cunetas son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o a ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte.

Normalmente, la cuneta tiene sección triangular con un ancho de 1.00 m, medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; su talud es generalmente de 3:1, del fondo de la cuneta parte el talud del corte La capacidad hidráulica de

esta sección puede calcularse con los métodos establecidos y debe estar de acuerdo con la precipitación pluvial de la zona y el área drenada.

Cuando los caminos no se pavimentan inmediatamente después de construídas las terracerías, es necesario proyectar una cuneta provisional para drenar la subcorona. El ancho de esta cuneta provisional debe diferir en una cantidad d al ancho de la cuneta definitiva, para que cuando se pavimente o se recubra el camino, la cuneta definitiva quede con su ancho de proyecto. En la Figura 9.8 se ilustra la forma y dimensiones de la cuneta provisional y su relación con la cuneta definitiva en donde B es el espesor de base y sub-base, en m; T y t son los taludes del corte y de la cuneta, respectivamente, y d es la reducción que hay que hacer al ancho de la cuneta definitiva para tener el ancho de la cuneta provisional, en m.

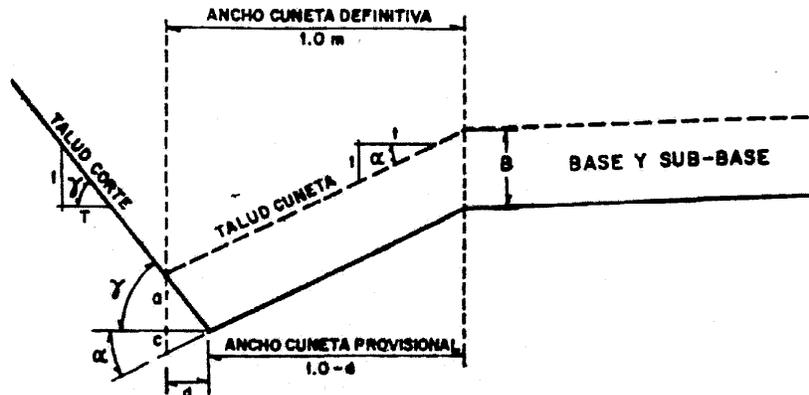


Figura 9.8 Cuneta Provisional

La pendiente longitudinal de las cunetas generalmente es la misma que la del camino, pero puede aumentarse si las condiciones del drenaje así lo requieren y la comparación con otra solución indica que es conveniente.

La longitud de una cuneta está limitada por su capacidad hidráulica, pues no debe permitirse que el agua rebase su sección y se extienda por el acotamiento, por lo que deberá limitarse esta longitud colocando alcantarillas de alivio o proyectando las canalizaciones convenientes.

Cuando la velocidad del agua es fuerte puede causar erosiones en la cuneta; para evitarlas habrá que disminuir esa velocidad o proteger las cunetas con materiales resistentes a la erosión.

B) Contracunetas. Generalmente son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural. Se construyen perpendiculares a la pendiente máxima del terreno con el fin de lograr una interceptación eficiente del escurrimiento laminar. Su proyecto en dimensiones y localización está determinado por el escurrimiento posible, por la configuración del terreno y por las características geotécnicas de los materiales que lo forman, pues a veces las contracunetas son perjudiciales si en su longitud ocurren filtraciones que redunden en la inestabilidad de los taludes del corte, en estos casos debe estudiarse la conveniencia de impermeabilizarlas, sustituirlas por bordos o lacar otra solución.

Taludes. El talud es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente. Por extensión, en caminos, se le llama también talud a la superficie que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta, y en terraplenes, la que queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente. Los taludes de los cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forman.

En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción y colocación del material que forma el talud, el valor comúnmente empleado para este es de 1.5. En los cortes, debido a la gran variedad en el tipo y disposición de los materiales, es indispensable un estudio, por somero que sea, para definir los taludes en cada caso. La tabla 9-D resume la experiencia de la SCT respecto a las recomendaciones de los taludes en cortes. Se tiene como norma para los cortes de más de siete metros de altura, realizar estudios con el detalle suficiente, a fin de fijar de un modo racional, los taludes y los procedimientos de construcción.

TABLA 9-D. TALUDES RECOMENDADOS EN CORTES

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Granito sano y masivo	¼ :1	¼ :1	Descopetar a ¼ :1 la parte intemperizada, si la hay
Granito sano, en bloque	½ :1	¾ :1	Amacizar taludes según la disposición de los bloques
Granito sano, fracturado	½ :1	½ :1	No se considera recomendable la construcción de bermas en el cambio de talud. El talud recomendable variará de acuerdo con la disposición relativa de las diaclasas respecto al talud
Granito fracturado y poco alterado	½ :1	½ :1	Si el fracturamiento es uniforme y favorable
	¾ :1	¾ :1	Si no es favorable
	½ :1	¾ :1	Si el fracturamiento es más intenso en la parte superior del corte
Granito totalmente intemperizado (tucuruquay)	½ :1	¾ :1	Si el producto de intemperización del granito es arena gruesa bien cementada y compacta
	¾ :1	1 :1	Si el producto de intemperización es arena limosa o arcillosa con poca cementación y compactación
Dioritas			Mismo comportamiento que los granitos
Riolitas fracturadas en grandes bloques con sistemas de fracturamiento principal horizontal y verticalmente. (Columnar.)	¾ :1	½ :1	No es adecuada la construcción de bermas
Andesita fracturada en grandes bloques	¾ :1	¾ :1	Si las fracturas no contienen arcilla
	½ :1	¾ :1	Si las fracturas contienen arcilla
			Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud
Andesita fracturada y poco alterada	¾ :1	½ :1	
Andesita fracturada y muy intemperizada	½ :1	¾ :1	
Diabasa sana, poco fracturada	⅓ :1	¼ :1	
Basalto columnar	⅓ :1	¼ :1	El que den las columnas, generalmente es vertical
Basalto fracturado, sano	¾ :1	¾ :1	Si el sistema de fracturamiento es favorable al talud
			Descopetar a ½ :1 la parte superior del corte si el fracturamiento es muy intenso
			Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños (mal país)	$\frac{1}{2}:1$ $\frac{3}{4}:1$	$\frac{3}{4}:1$ $\frac{3}{4}:1$	Si está empacado en arcillas
Basalto muy fracturado y alterado	$\frac{1}{2}:1$	$\frac{1}{2}:1$	
Derrames basálticos intercalados con piroclásticas y tezontles	$\frac{3}{4}:1$	1:1	Conviene la construcción de banquetas de 4 m al pie del talud para recibir desprendimientos
Tezontle suave bien cementado	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{1}{2}:1$	
Tezontle sano fragmentario	$\frac{3}{4}:1$	1:1	
Tezontle intemperizado	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{3}{4}:1$	
Tobas andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas y fuertemente cementadas	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{3}{4}:1$	Si presentan fracturamiento columnar, deberá darse la inclinación de dichas columnas Deberá tenerse especial cuidado para no usar explosivos en exceso
	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{3}{4}:1$	Si están intemperizadas en la parte superior del corte
Tobas brechoides medianamente cementadas	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{3}{4}:1$	Un solo talud para cortes menores de 16 m
Tobas débilmente cementadas	$\frac{3}{4}:1$	1:1	
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{3}{4}:1$	Construir contracunetas impermeables si se requiriesen Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de planos de sedimentación respecto al plano del talud
	$\frac{3}{4}:1$	$\frac{1}{2}:1$	Si la parte superior del corte se encuentra más fracturada
Lutita suave muy fracturada	$\frac{1}{2}:1$	$\frac{3}{4}:1$	Construir contracunetas impermeables si se requiriesen Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de los planos de sedimentación respecto al plano del talud

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Areniscas fuertemente cementadas	1/8 :1	1/8 :1	
Areniscas débilmente cementadas	1/2 :1	3/4 :1	
Conglomerado brechoide bien cementado con matriz silicea	1/8 :1	1/8 :1	
Conglomerados cementados con matriz cálcica	3/4 :1	3/4 :1	
Conglomerado pobremente cementado o con matriz arcillosa	1/2 :1	3/4 :1	
Caliza fracturada con echados casi horizontales	1/8 :1	1/8 :1	Descopetar a 1/2 :1 la parte superior del corte, si el fracturamiento es muy intenso Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de los planos de sedimentación respecto al plano del talud
Caliza muy fracturada, cavernosa y poco alterada	1/2 :1	3/4 :1	
Pizarras con planos de apizarramiento de 5 a 10 cm de separación, con echados casi horizontales	3/4 :1	1/2 :1	Se aconseja la construcción de contracunetas impermeables si éstas son necesarias
Aglomerados medianamente compactos	3/4 :1	3/4 :1	
Arenas limosas pumíticas y vidrios volcánicos (jales)	3/4 :1	1:1	Protección de taludes inmediata, mediante "tepes", cunetas y contracunetas impermeabilizadas
Limos arenosos muy compactos (tepetates)	3/4 :1	1/2 :1	
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas)	1/2 :1	1/2 :1 a 3/4 :1	
Arcillas muy suaves, expansivas y compresibles	1:1	1.5:1	Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje
Caolín, producto de alteración de dioritas	1:1		Cubrir con "tepes" el talud. Altura máxima de corte 8 m. Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje

Partes complementarias. Bajo esta denominación se incluyen aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras. Las defensas y los dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como parte de la sección transversal, su aplicación, diseño y descripción, están tratados en el Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito, editado por la Secretaría de Obras Públicas.

Faja Separadora Central.- La faja separadora central deberá proyectarse únicamente en carreteras Tipo "A" de cuatro carriles, este no es el caso.

Taludes. Los taludes estarán definidos por su inclinación, expresada numéricamente por el recíproco de la pendiente.

a) En Terraplén.- El talud de la sección transversal en terraplén deberá ser de uno y medio a uno (1.5:1), pudiendo tener una inclinación diferente si así lo especifica la Secretaría.

b) En Corte.- El talud de la sección transversal en corte deberá ser el que especifique la Secretaría.

Cunetas.- Las cunetas serán de forma triangular y están definidas por su ancho y sus taludes.

a) Ancho.- El ancho de la cuneta, medido horizontalmente entre el hombro de la corona y el fondo de la cuneta, deberá ser de un metro (1,00 m), pudiendo ser mayor si por capacidad hidráulica así se requiere.

b) Taludes.- El talud interno de la cuneta deberá ser de tres a uno (3:1). El talud externo de la cuneta será el correspondiente al de corte.

Contracunetas.- Las contracunetas serán, generalmente, de forma trapezoidal y están definidas por su ancho de plantilla, su profundidad y sus taludes. Su utilización, ubicación y dimensiones estarán sujetas a los estudios de drenaje y geotécnicos, o a lo que especifique la Secretaría.

Obras Complementarias.- Las obras complementarias de la sección transversal, tales como guarniciones, bordillos, lavaderos, banquetas, defensas y dispositivos para el control del tránsito, deberán considerarse en el proyecto cuando así lo especifique la Secretaría.

Derecho de vía. El derecho de vía de una carretera es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Su ancho será el requerido para satisfacer esas necesidades.

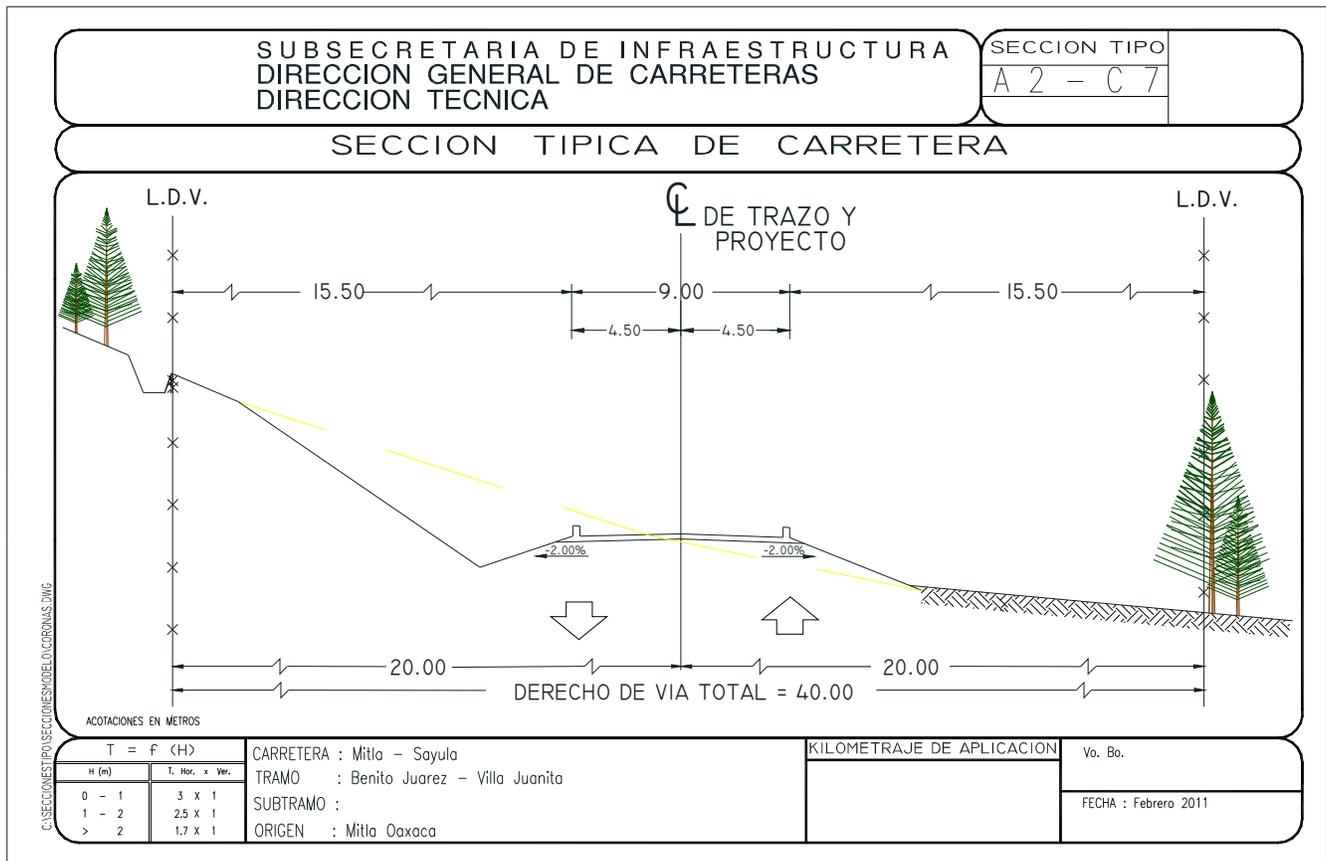
En general, conviene que el ancho de derecho de vía sea uniforme, pero habrá casos en que para alojar intersecciones, bancos de materiales, taludes de corte o terraplén y servicios auxiliares, se requiera disponer de un mayor ancho. El derecho de vía está definido por su ancho y su longitud. El ancho del derecho de vía es variable. Para su determinación, es conveniente tomar en cuenta la recomendación que al respecto se indica más adelante.

Con relación a la sección transversal, se procurará observar lo siguiente:

- a) Cuando se prevean defensas, bordillos, señales, etc., a los lados del camino, deberá ampliarse la corona, de manera que los anchos de los acotamientos correspondan a los especificados.
- b) Los bordillos sólo deberán proyectarse en terraplenes con taludes erosionables.
- c) El ancho del derecho de vía deberá determinarse por tramos ó zonas de acuerdo al tipo de carretera, para lo cual se establecerá en cada caso su función, su evolución, requerimientos de construcción, conservación, futuras ampliaciones, uso actual y futuro de la tierra, así como servicios requeridos por los usuarios. Esta determinación debe apoyar se en un análisis económico y en la disponibilidad de recursos.

Anteriormente las secciones de proyecto se realizaban a mano, actualmente junto con la programación la captura de datos como la del estudio de geotecnia, las secciones del terreno natural, los datos del alineamiento vertical, la obtención de una rasante definitiva, y la obtención de áreas de corte y terraplén, permitieron obtener de manera más sencilla y rápida las secciones del proyecto, con sus respectivos datos geométricos.

A continuación se muestra la sección tipo de nuestro proyecto



IV.5 Sobreelevación y ampliación

DURACION: 5 DIAS

PERSONAL QUE PARTICIPA:

MANO DE OBRA	NUMERO DE PERSONAS	JORNADA
CALCULISTA	1	3
CAPTURISTA	1	2

EQUIPO UTILIZADO:

COMPUTADORA HP VECTRA IMPRESORA HP LASERJET4P

En esta parte del proyecto me tocó calcular las sobreelevaciones y ampliaciones, pero antes debemos recordar algunos conceptos:

BOMBEO: El bombeo es la pendiente que se da a la corona en las tangentes hacia un lado y el otro de la rasante para evitar la acumulación del agua.

SOBREELEVACIÓN: Es la pendiente que se le da a la corona para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga en una curva del alineamiento horizontal.

AMPLIACIÓN: Es el sobreeschero que se le da tanto a la calzada como a la corona para permitir que un vehículo no muestre dificultad para tomar una curva.

Como la sobreelevación es la variación de la pendiente en las curvas para contrarrestar la fuerza centrífuga, esta es simétrica a la mitad de dicha curva. Es decir; alcanza su mayor pendiente a la mitad de la curva y después disminuye la pendiente para alcanzar la pendiente de inicio, una pendiente de -2%, tanto del lado derecho como el izquierdo. Para ejemplificar esta variación se muestra en la siguiente figura 4.4.

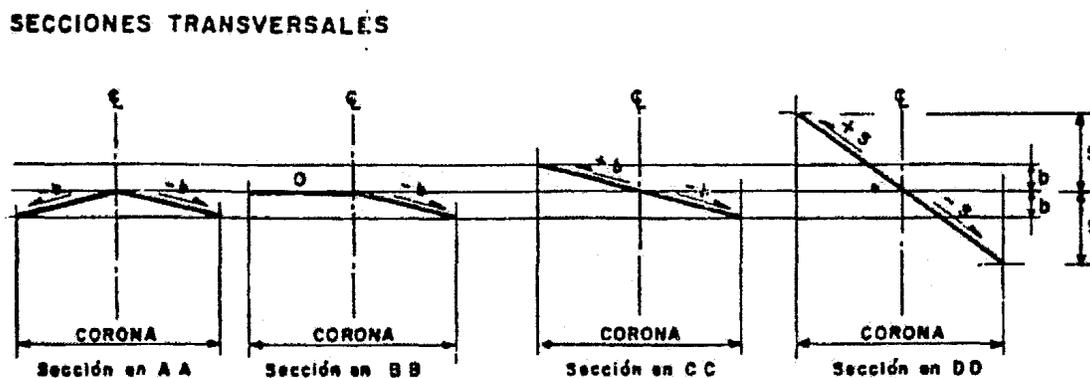
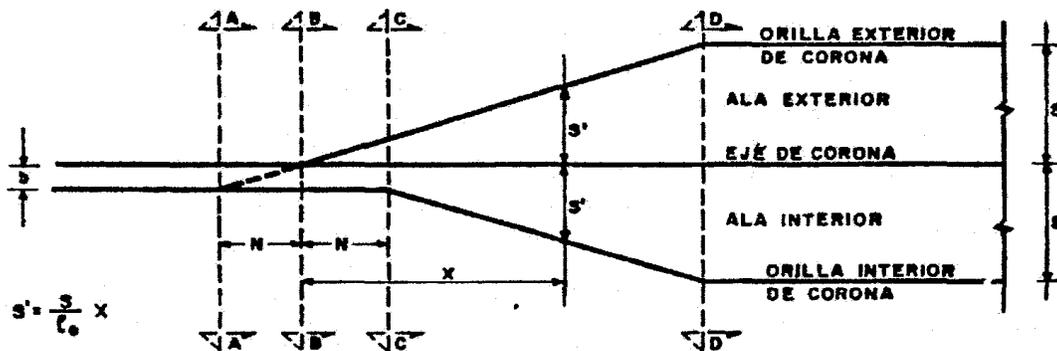


Figura 4.4 Esquemas de la variación de la pendiente en la sobreelevación.

Los esquemas anteriores son representativos de curvas derechas, para curvas izquierdas la pendiente se eleva del lado contrario. En la sección A, antes de que se inicie la transición, se empieza a girar a ala exterior con centro en el eje de la corona, a fin de que en el TE esté a nivel como se muestra en la sección B y el ala interior conserve su nivel de bombeo, que en nuestro proyecto es del 2%, a partir de este punto se empieza a girar el ala exterior hasta que esta sea colineal con la interior, sección C y por último se gira toda la sección hasta alcanzar la sobreelevación máxima que se marca en las tablas de las normas técnicas de la SCT, Sección D.

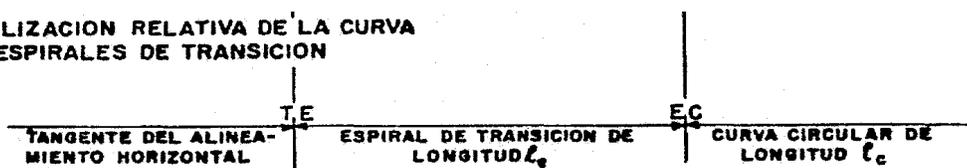
VARIACION DE LA SOBREELEVACION



En nuestro proyecto por ser un camino tipo C con concreto asfáltico, el valor de b , fue en nuestro proyecto de 2%, el valor de S es obtenido de tablas de las normas técnicas de la SCT en donde interviene el tipo de carretera, el grado de curvatura y la velocidad de proyecto.

La sección A de la figura 4.4, se presenta en el paso de tangente al inicio de la curva y en el término de la curva a tangente nuevamente, pero ahora se necesita saber el cadenamiento en donde empieza y termina la transición de nuestra curva, es decir en que cadenamiento se presenta la sección A, en cual la B, C y D.

LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CON ESPIRALES DE TRANSICION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

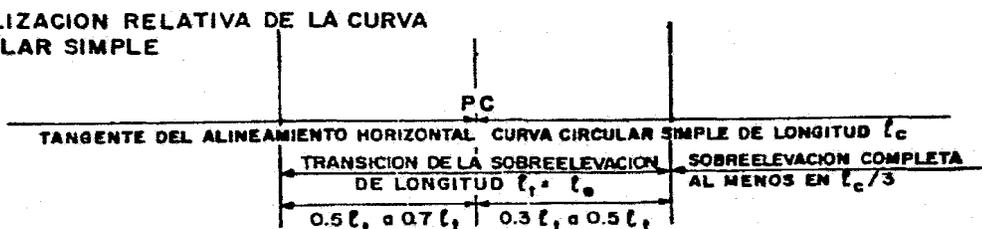


FIGURA 9.4. TRANSICIÓN DE LA SECCIÓN EN TANGENTE A LA SECCIÓN EN CURVA GIRANDO SOBRE EL EJE DE CORONA.

A continuación se presentan los cálculos que se utilizaron, tanto para una curva circular simple, así como una curva circular con espirales.

Sobreelevaciones y ampliaciones en curva circular simple con espirales

$$N1 = \text{Cad.EC} - \text{Le} - N$$

$$N2 = \text{Cad.EC} - \text{Le} + N$$

$$N3 = \text{Cad.CE} + \text{Le} - N$$

$$N4 = \text{Cad.CE} + \text{Le} + N$$

$$N = 2 \frac{Le}{Sc}$$

Donde:

N1; Es el cadenamiento donde empieza la sobreelevación de la curva (Sección A)

N2; Es el cadenamiento donde el ala exterior sigue girando hasta que se hace colineal a la ala anterior. (Sección C)

N3; Es el cadenamiento donde después de haber alcanzado la sobreelevación máxima, gira la sección completa hasta que la ala exterior se hace colineal a la ala anterior, hasta alcanzar la pendiente de N2.

N4; Es el cadenamiento donde termina la sobreelevación de la curva y las alas alcanzan de nuevo el valor del bombeo en tangente.

Le; Longitud de la espiral

Sc; Sobreelevación máxima obtenida de tablas.

Sobreelevaciones y ampliaciones en curvas circulares simples que es la que ocupe en el proyecto.

Para la obtención de las sobreelevaciones en una curva circular simple, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$N1 = PC - \frac{Lc}{2} - N$$

$$N2 = PC - \frac{Lc}{2} + N$$

$$N3 = PT + \frac{Lc}{2} - N$$

$$N4 = PT + \frac{Lc}{2} + N$$

$$TT = PC - \frac{Lc}{2}$$

$$FTT = PT + \frac{Lc}{2}$$

$$FC' = PC + \frac{Lc}{2}$$

$$FT' = PT - \frac{Lc}{2}$$

N1; Es el cadenamiento donde empieza la sobreelevación de la curva (Sección A)

N2; Es el cadenamiento donde el ala exterior sigue girando hasta que se hace colonial a la ala anterior. (Sección C)

N3; Es el cadenamiento donde después de haber alcanzado la sobreelevación máxima, gira la sección completa hasta que la ala exterior se hace colonial a la ala anterior, hasta alcanzar de nuevo la pendiente de N2.

N4; Es el cadenamiento donde termina la sobreelevación de la curva y las alas alcanzan de nuevo el valor del bombeo en tangente.

TT; Es el cadenamiento donde la empieza a girar el ala exterior hasta que sea normal al eje de proyecto, o en otras palabras tenga pendiente 0.

FTT; Es el cadenamiento donde el eje de proyecto vuelve a ser normal al eje del proyecto después de alcanzar la ala exterior la sobreelevación máxima.

PC'; Es el cadenamiento donde se alcanza la sobreelevación máxima

PT'; Es el cadenamiento donde termina de alcanzar la sobreelevación máxima y la ala exterior empieza a disminuir su pendiente.

Lc; Longitud de la curva.

Sc; Sobreelevación máxima obtenida de tablas.

Para la curva circular simple, las ampliaciones se calcularán al igual que en las curvas circular con espirales para los puntos N2 y N4.

$$Ampliación = N \frac{Ac}{Le}$$

La ampliación máxima se presentará en los puntos EC y CE.

Los puntos donde inicia y termina la ampliación son los puntos TT y FTT respectivamente.

En la imagen 4.6, se puede observar un esquema en donde se ejemplifica en donde se presenta las pendientes de las sobreelevaciones en nuestro proyecto y las ampliaciones (Sc, sobreelevación máxima y Ac, ampliación máxima).

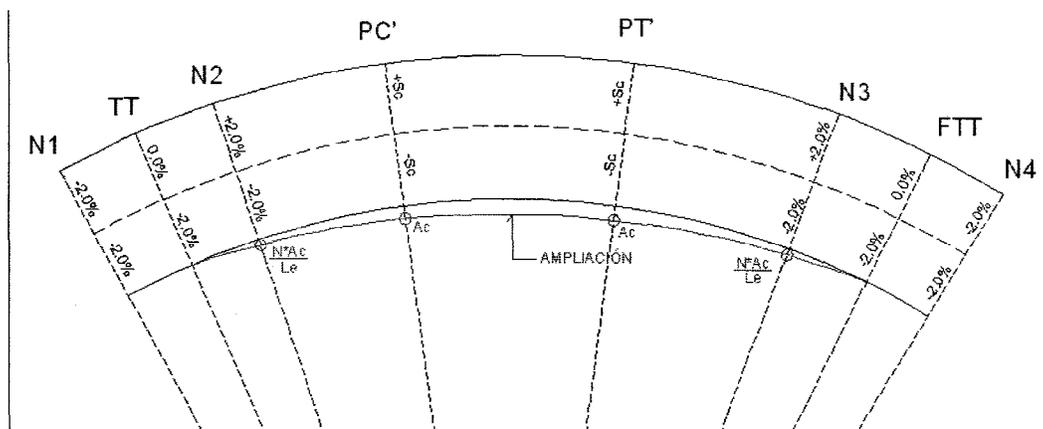


Imagen 4.6 Ubicación de las sobreelevaciones y ampliaciones en una curva circular simple

Para optimizar el cálculo de las sobreelevaciones y ampliaciones se generó una hoja de cálculo en Excel, en donde los datos de captura son el Gc, Lc, Ac y Sc, éstos dos últimos obtenidos de la tabla 004-6 y 004-7.

Algo de lo que tenía que estar muy pendiente, era que las sobreelevaciones estuvieran bien calculadas y sobre todo que no existiera traslape entre el último punto de la curva (N4) y el primero de la siguiente curva (N1). Cuando hablo de traslape me refiero a que nunca el cadenamiento de N4, debe ser mayor al de N1 de la siguiente curva.

La hoja de cálculo en la que se capturan y se obtienen datos es la siguiente:

En la parte superior, se anotan los nombres del camino, tramo y subtramo a que pertenecen las curvas.

Una vez completa la parte superior de la forma, se procede a llenar las columnas y renglones de la tabla propiamente dicha.

En la columna (1) y (2) se calculan el cadenamiento de los puntos en donde se van a calcular sobreelevaciones y ampliaciones, los puntos que definen la curva y sus transiciones y los puntos que se encuentren a una distancia N del principio o fin de la transición.

En las columnas (3) se calculan las sobreelevaciones de las alas del camino. Se anotan primero las sobreelevaciones conocidas, que son las de aquellos puntos que definen a la curva y sus transiciones. Las sobreelevaciones restantes se calculan multiplicando la distancia por el parámetro Sc y el sentido de la curva.

En Las columnas (4) se calculan las ampliaciones de la curva, según sea el sentido

En la (5) columna se anotan especificaciones generales de proyecto geométrico pertinentes, tales como la velocidad de proyecto 17, la sobreelevación máxima (Smax), el grado máximo de curvatura (Gmax), el ancho de corona en tangente C y el bombeo en tangente b, en la tercera columna se anotan los datos específicos de la curva que se esté analizando, tales como el grado y el sentido de la deflexión, la sobreelevación de la curva S, la longitud de la transición Le, la distancia N y la ampliación de la curva A. Cada uno de estos elementos se calcula a través de las expresiones ya citadas.

SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES

CARRETERA :		MITLA-SAYULA				DE KM =		120+000	
TRAMO :		BENITO JUAREZ-VILLA JUANITA				A KM =		125+000	
ORIGEN :		MITLA, OAX.				ALTERNATIVA:		"B" COR. 9.00 M.	
ABREVIATURAS	CADENAMIENTO PARA INTERPOLACION DE SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES	SOBREELEVACIONES				AMPLIACIONES		DATOS PARA LAS CURVAS CIRCULARES ESPIRALES	
		IZQUIERDA		DERECHA		IZQUIERDA	DERECHA		
		±	%	±	%	m	m		
PST	120+000.000	-	-2.00	-	-2.00				
N1	120+677.026		-2.00		-2.00	0	0	Curva circular No. = 1	
TT	120+722.952		0.00		-2.00	0.00	0.00	Vel. Proy.= 110	
N2	120+768.878		2.00		-2.00	0.00	0.15	Gc = 0°30'00" Pc 120+753.952	
PC'	120+784.952		2.70		-2.70	0.00	0.20	Ac = 0.20 m Pt 121+094.834	
PT'	121+063.834		2.70		-2.70	0.00	0.20	Sc = 2.70 %	
N3	121+079.908		2.00		-2.00	0.00	0.15	Le = 62.00 m	
FTT	121+125.834		0.00		-2.00	0.00	0.00	N = 45.926 m	
N4	121+171.760		-2.00		-2.00	0	0	Sentido (I=1/D=2): 2	
N1	121+660.351		-2.00		-2.00	0	0	Curva circular No. = 2	
TT	121+722.351		-2.00		0.00	0.00	0.00	Vel. Proy.= 110	
N2	121+784.351		-2.00		2.00	0.00	0.00	Gc = 0°15'00" Pc 121+753.351	
PC'	121+784.351		-2.00		2.00	0.00	0.00	Ac = 0.00 m Pt 122+149.293	
PT'	122+118.293		-2.00		2.00	0.00	0.00	Sc = 2.00 %	
N3	122+118.293		-2.00		2.00	0.00	0.00	Le = 62.00 m	
FTT	122+180.293		-2.00		0.00	0.00	0.00	N = 62.000 m	
N4	122+242.293		-2.00		-2.00	0	0	Sentido (I=1/D=2): 1	
N1	122+622.681		-2.00		-2.00	0	0	Curva circular No. = 3	
TT	122+668.607		-2.00		0.00	0.00	0.00	Vel. Proy.= 110	
N2	122+714.533		-2.00		2.00	0.15	0.00	Gc = 0°30'00" Pc 122+699.607	
PC'	122+730.607		-2.70		2.70	0.20	0.00	Ac = 0.20 m Pt 123+118.896	
PT'	123+087.896		-2.70		2.70	0.20	0.00	Sc = 2.70 %	
N3	123+103.970		-2.00		2.00	0.15	0.00	Le = 62.00 m	
FTT	123+149.896		-2.00		0.00	0.00	0.00	N = 45.926 m	
N4	123+195.822		-2.00		-2.00	0	0	Sentido (I=1/D=2): 1	
N1	124+112.076		-2.00		-2.00	0	0	Curva circular No. = 4	
TT	124+174.076		-2.00		0.00	0.00	0.00	Vel. Proy.= 110	
N2	124+236.076		-2.00		2.00	0.00	0.00	Gc = 0°06'00" Pc 124+205.076	
PC'	124+236.076		-2.00		2.00	0.00	0.00	Ac = 0.00 m Pt 124+536.467	
PT'	124+505.467		-2.00		2.00	0.00	0.00	Sc = 2.00 %	
N3	124+505.467		-2.00		2.00	0.00	0.00	Le = 62.00 m	
FTT	124+567.467		-2.00		0.00	0.00	0.00	N = 62.000 m	
N4	124+629.467		-2.00		-2.00	0	0	Sentido (I=1/D=2): 1	

Desviación: Derecha = 1, Izquierda = 2.

CALCULO DE SOBREELEVACIONES Y AMPLIACIONES DEL EJE
MITLA-SAYULA EN EL TRAMO 120-125

IV.6 Datos topográficos de posibles obras de drenaje menor

DURACION: 15 DIAS

PERSONAL QUE PARTICIPA:

MANO DE OBRA	NUMERO DE PERSONAS	JORNADA
AUXILIAR DE PROYECTO	1	5
OPERADOR CAD	2	10
CAPTURISTA	2	10



EQUIPO UTILIZADO:

COMPUTADORA HP VECTRA

PLOTTER HP DESINGNJET500C

La participación en la realización de la propuesta de obras de drenaje, solo consto en realizar los perfiles de las obras de drenaje que utilizara el proyectista de drenaje menor.

Las obras de drenaje son aquellas que permiten que el agua siga su cauce y no se quede estancada y provoque una acumulación de agua y dañe la carretera, ya que el agua es el principal factor de daño para los caminos. Las obras de drenaje se dividen en obras de drenaje mayor y menor. Entre las obras de drenaje mayor se encuentran los puentes que permiten el paso de una gran cantidad de agua, como ríos y arroyos, entre las obras de drenaje menor, están las bóvedas, ¡osas y tubos, obras que permiten el paso del agua de cuencas pequeñas.

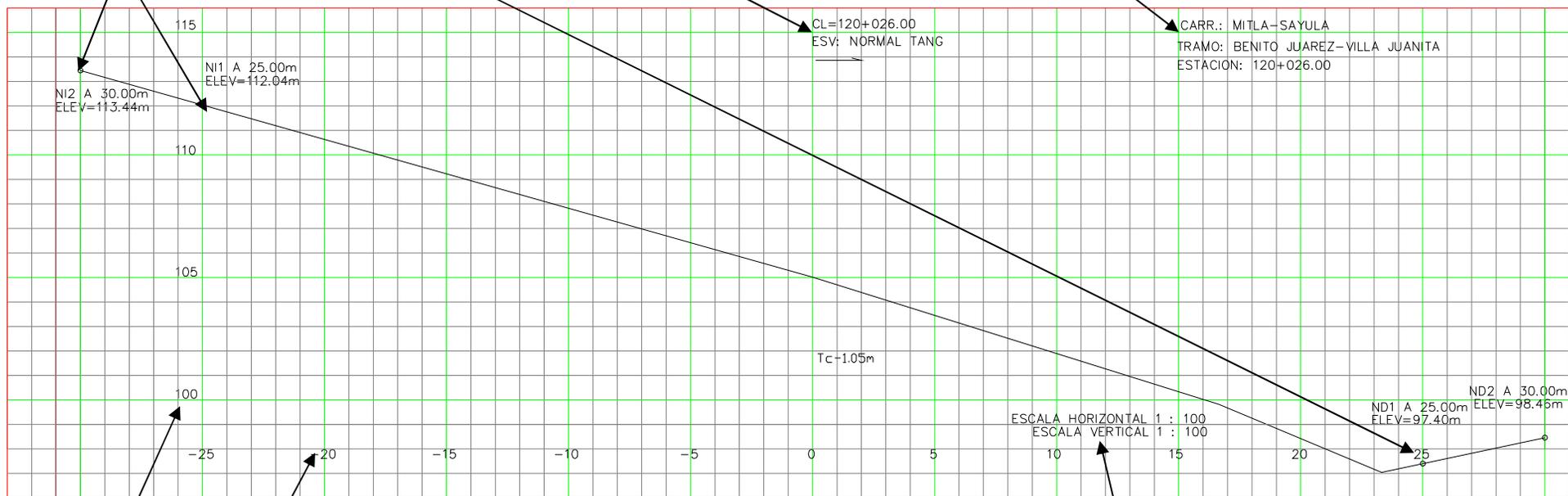
En el caso de nuestro proyecto solo se hizo el análisis topográfico de obras menores.

Se capturaron los datos topográficos de las obras con el objetivo de obtener los perfiles de las posibles obras de drenaje para su posterior elección de tipo de obra en su funcionamiento del drenaje, se muestra a continuación parte de los perfiles de estas posibles obras a proyectar del tramo del km 120+000.00 al 125+000.00.

Se capturan los puntos levantados del escurrimiento obteniéndose así su perfil dibujado. Señalando los puntos de referencia puestos en campo del lado izquierdo (NI-1 y NI-2) y los del lado derecho (ND-1 y ND2).

Se captura la ubicación del escurrimiento (la estación) junto con su esviaje y el sentido del escurrimiento

Se captura el nombre de la carretera, su tramo y la estación.

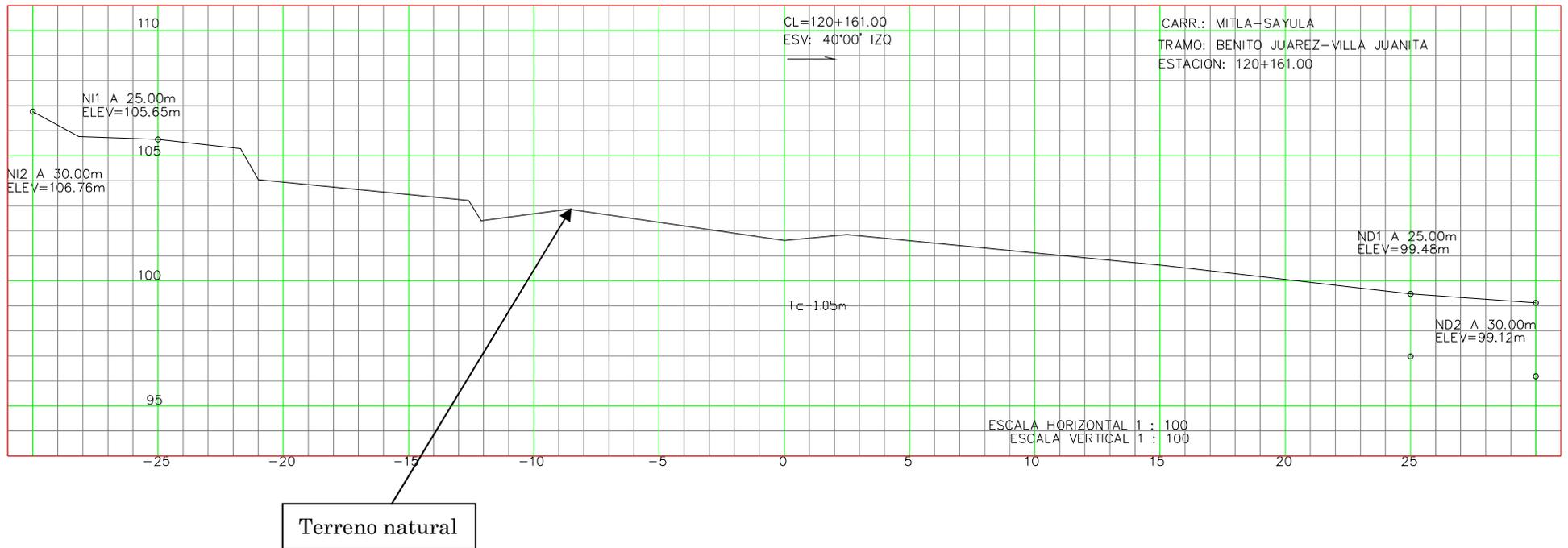


El perfil debe constar de las elevaciones y de las distancias de corte transversal de acuerdo al esviaje con que fueron levantados los escurrimientos

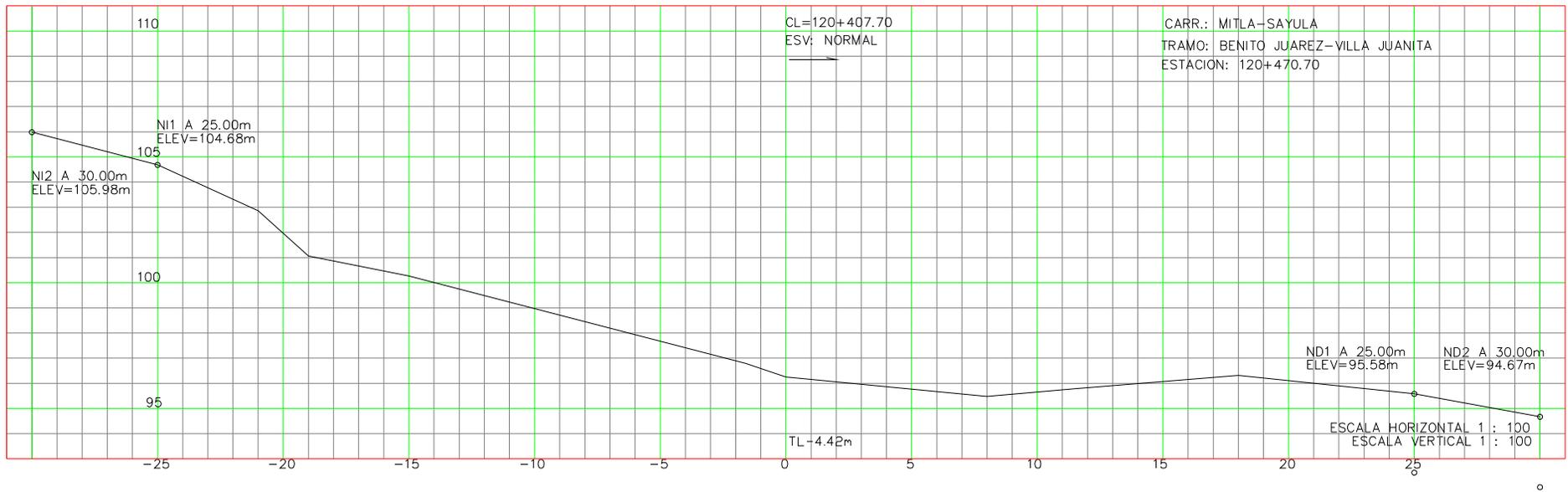
El perfil consta de una cuadrícula que ayuda a ubicar la elevación y la distancia

Se señala la escala tanto horizontal como vertical del perfil dibujado

Perfil de la Obra de Drenaje 120+026.00



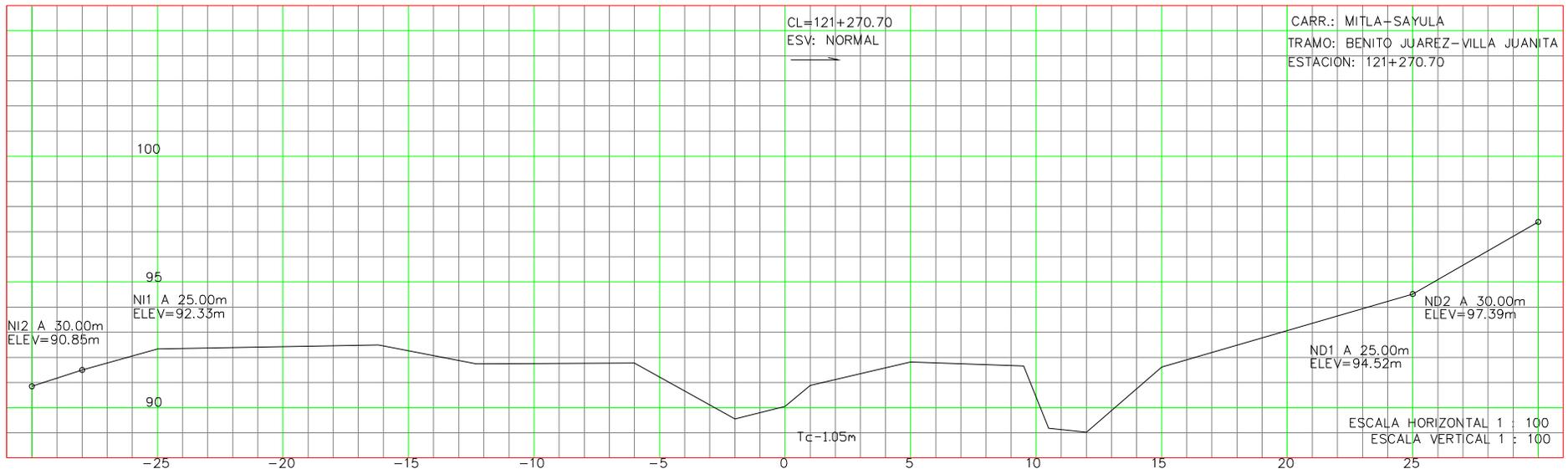
Perfil de la Obra de Drenaje 120+161.00



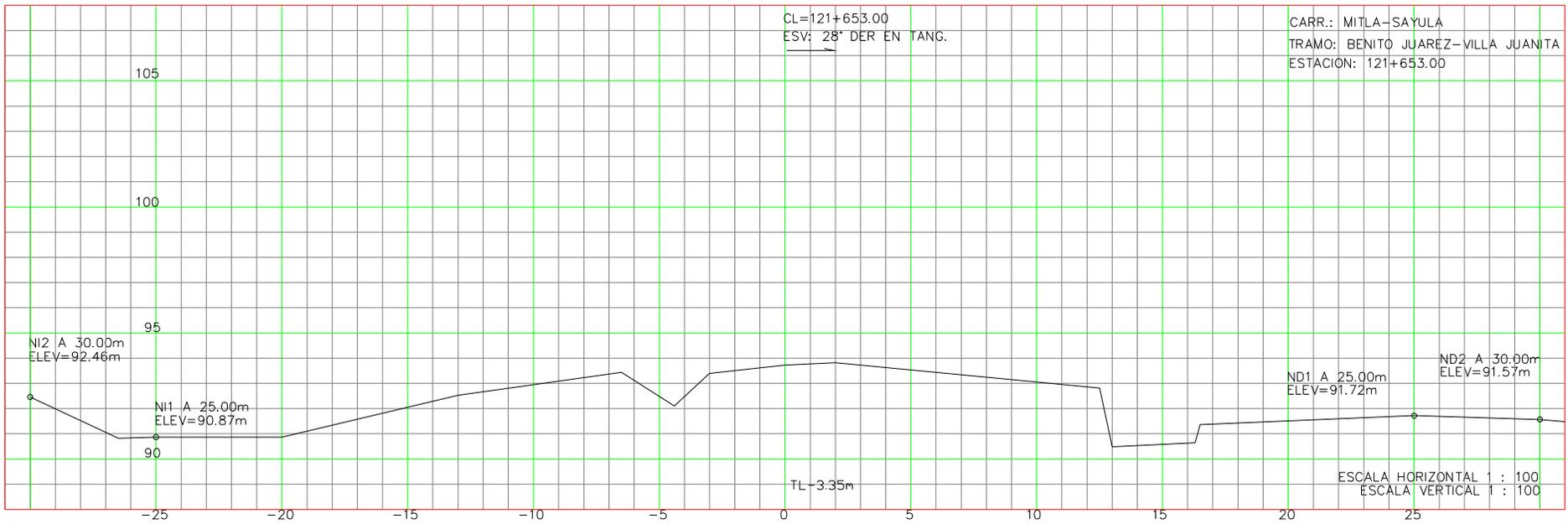
Perfil de la Obra de Drenaje 120+407.70



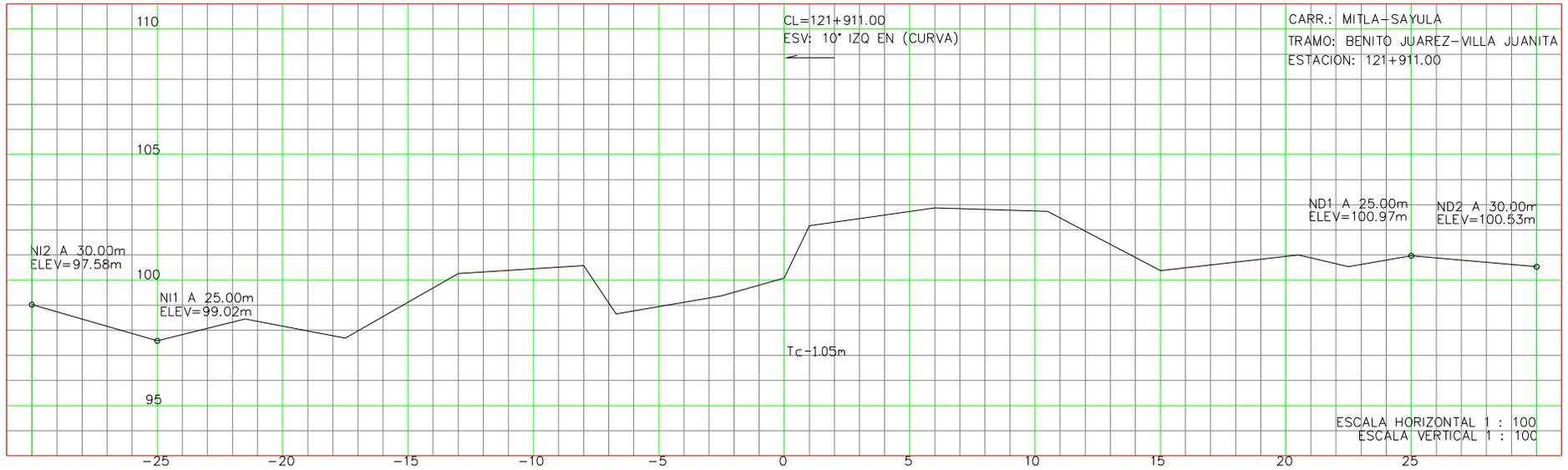
Perfil de la Obra de Drenaje 120+835.00



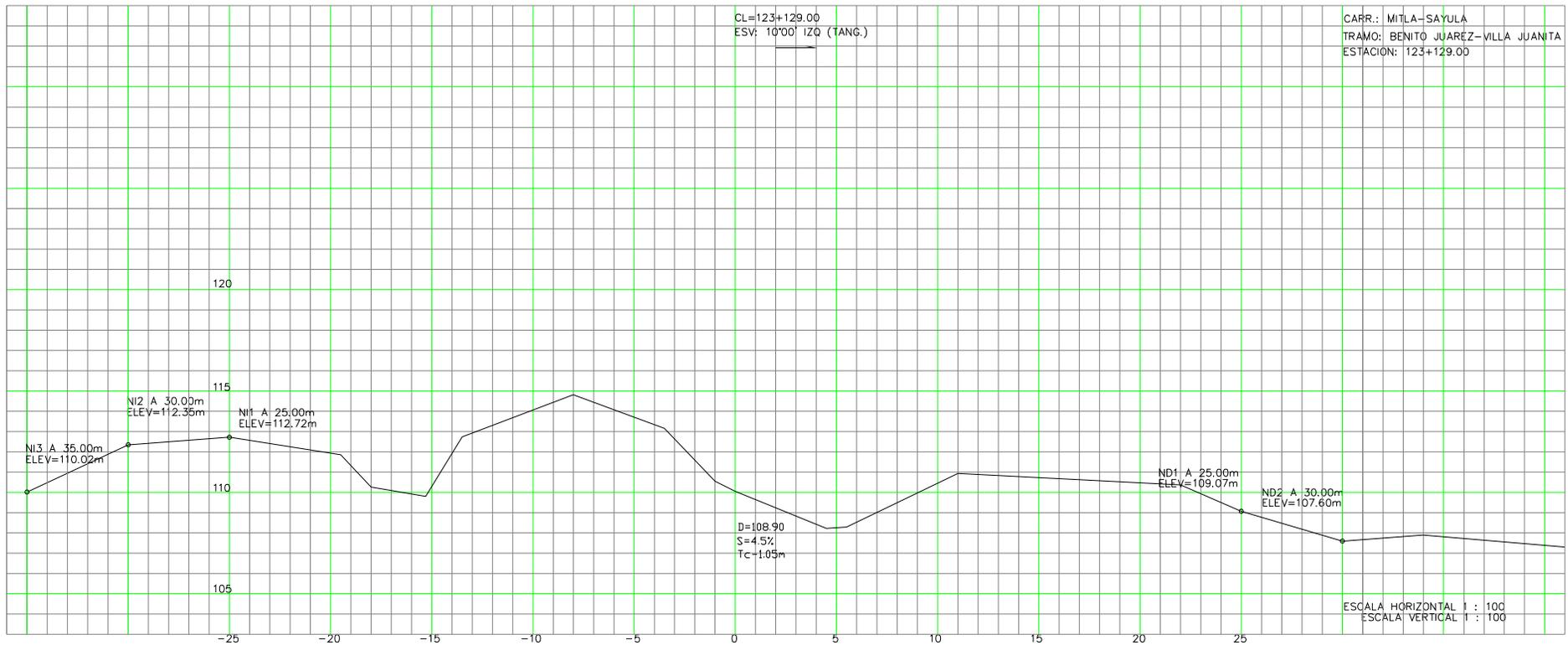
Perfil de la Obra de Drenaje 121+270.70



Perfil de la Obra de Drenaje 121+653.00



Perfil de la Obra de Drenaje 121+911.00



Perfil de la Obra de Drenaje 123+129.00

Esta hoja de datos generales para el proyecto de estructuras menores, nos presenta la estación de la obra, los datos hidráulicos, el tipo de obra propuesta, el tipo de obra que se propone por la empresa, el esviaje, el sentido del escurrimiento y las notas. Estos datos son obtenidos del registro de drenaje en campo y se capturó por tramos de 5 km.

Tanto los datos hidráulicos, los tipos de obras propuestas por la empresa, la tabla de terracería para proyectos de estructuras menores; fueron obtenidos de los resultados del proyecto de alineamiento vertical proceso del programa de la SCT y que al proyectista le permitió ir calculando la altura de hombros y talud para los casos en que las obras estuvieran esviajadas, y es que una obra esviajada es distinta a un obra normal, hay variación en los hombros y taludes en las secciones transversales de las obras.

Todos estos datos son calculados por el especialista en drenaje, en mi caso solo apoye en la captura de datos y en el dibujo de los perfiles de drenaje.

