

4.13.- SOBREANCHO EN ALINEAMIENTOS CURVOS

Algunas curvas requieren un ancho adicional de la calzada para tener condiciones de circulación e quivalentes a las que proveen los alineamientos rectos.

Un vehículo circulando en curva ocasiona una mayor ocupación del carril ya que, generalmente, las ruedas traseras describen una trayectoria algo diferente a la recorrida por las ruedas delanteras. Esta trayectoria puede ser interior a la delineada por las ruedas delanteras en vehículos que circulan a velocidades moderadas, y exterior en aquéllos que lo hacen a velocidades excesivas. Además los extremos laterales delantero y trasero describen trayectorias exteriores a la delineada por el vehículo.

Por otra parte la circulación en curva ocasiona en los conductores dificultades de orden psicológico, necesitándose en consecuencia un mayor ancho de carril para contrarrestar dicha impresión desfavorable.

Los efectos mencionados relacionados con la circulación en curva son de muy difícil evaluación y no pueden ser determinados en forma exacta. Por lo tanto deben preverse una serie de hipótesis a fin de reducir y evaluar variables para lograr una expresión simplificada que permita, dentro de las tolerancias admisibles, establecer normas prácticas de diseño.

El sobreancho w de una calzada en curva es la diferencia entre el ancho de carril w_c necesario para una correcta circulación en dicha curva y el ancho normal w_n del carril en alineamientos rectos.

$$w = w_c - w_n \qquad 4.13.1$$

La figura 4.13.1 grafica el desplazamiento de vehículos circulando en curva. Para facilitar el proceso de ductivo se ubica al vehículo que transita sobre el carril interior en el centro del mismo, a pesar de que estaría capacitado para circular más cerca del borde interno de la calzada.

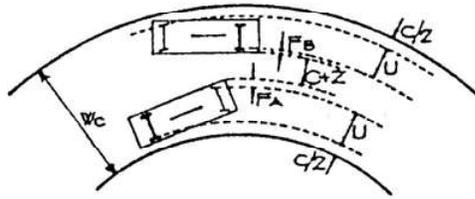


FIG. 4.13.1. DETALLE DE LAS TRAYECTORIAS DE DOS VEHICULOS EN CURVA.

En base a dicha figura puede expresarse la siguiente ecuación:

$$W_c = 2 (U + C) + F_A + F_B + Z \quad 4.13.2$$

- siendo U ancho total de las trayectorias recorridas por las ruedas
 C ancho lateral libre de obstrucción
 F_A ancho frontal sobresaliente del vehículo
 F_B ancho trasero sobresaliente del vehículo
 Z ancho adicional para compensar la dificultad de conducir en curva

El valor del ancho lateral libre de obstrucción C es 0,92 m, 0,76 m y 0,61 m para anchos de calzada de 7,30 m, 6,70 m y 6,10 m respectivamente.

Para determinar el ancho W_c es necesario adoptar un vehículo tipo representativo del tránsito que circula sobre la calzada. Las normas AASHO 1965 admiten como vehículo tipo al camión, ya que es determinante en relación a los automóviles.

Las diferencias entre el ancho de ocupación de calzada del camión y el de las unidades combinadas son de importancia en las curvas cerradas utilizadas en intersecciones, pero en carreteras rurales con radios usualmente mayores de 100 metros estas diferencias son despreciables. Además, las rutas de bajas velocidades con radios menores responden en general a caminos secundarios en alta montaña, los cuales prácticamente imposibilitan la circulación de grandes unidades de transporte.

Por lo tanto, las condiciones geométricas de circulación del camión tipo pueden considerarse como representativas del tránsito en carreteras rurales obteniéndose evidentemente, en relación a las unidades combinadas, un cálculo más sencillo para la determinación del sobreañcho.

En aquellos casos particulares en que no se den estas condiciones de circulación debe considerarse la real incidencia de las mismas en la adopción del sobreañcho.

El valor F_B en vehículos comerciales puede considerarse despreciable, figura 4.13.2.

El valor del ancho U de las trayectorias recorridas por las ruedas puede expresarse:

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - P^2} \quad 4.13.3$$

siendo u ancho total del vehículo, en m
 R radio de la curva circular, en m
 P paso del vehículo, en m

Si se reemplazan los valores correspondientes al vehículo tipo: $u = 2,59$ m y $P = 6,10$ m.

$$U = 2,59 + R - \sqrt{R^2 - 37,21} \quad 4.13.4$$

El ancho frontal sobresaliente F_A queda definido por la siguiente ecuación:

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2P + A)} - R \quad 4.13.5$$

siendo A distancia entre el eje delantero y el frente del vehículo ($A = 1,22$ m para vehículo tipo).

Reemplazando con las dimensiones del vehículo tipo:

$$F_A = \sqrt{R^2 + 16,37} - R \quad 4.13.6$$

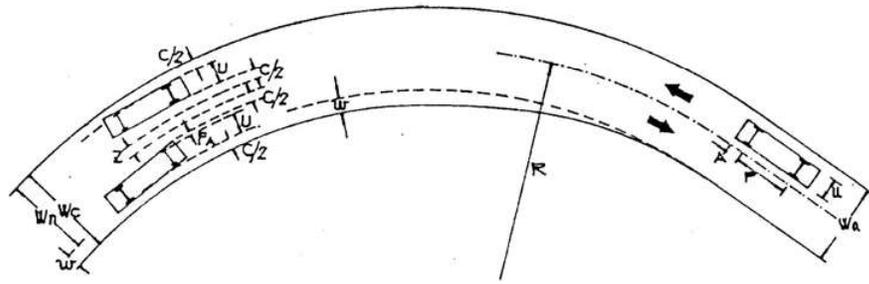


FIG. 4.13.2. ESQUEMA DE CIRCULACION VEHICULAR EN CURVA.

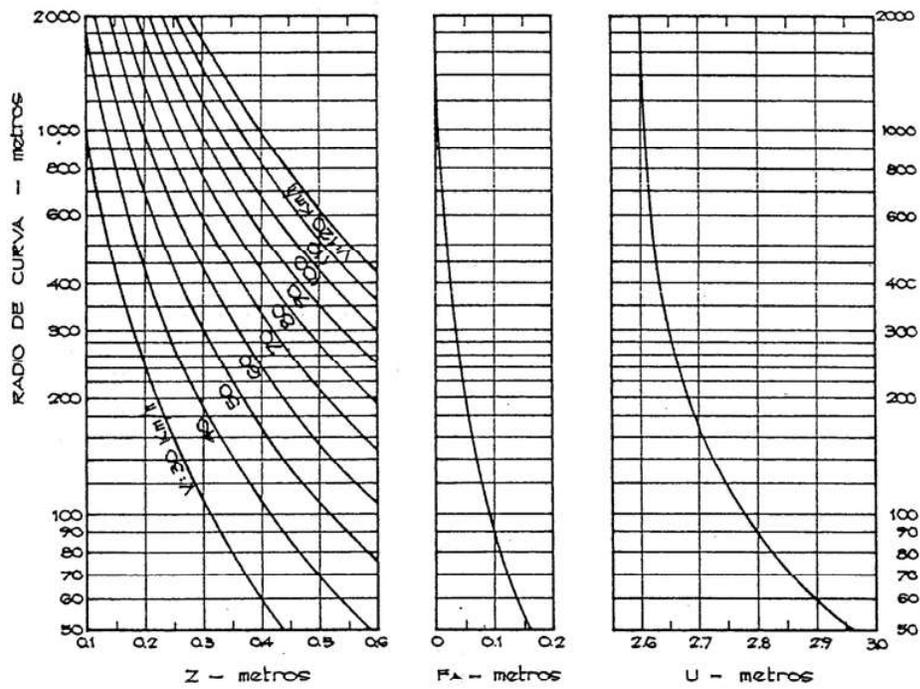
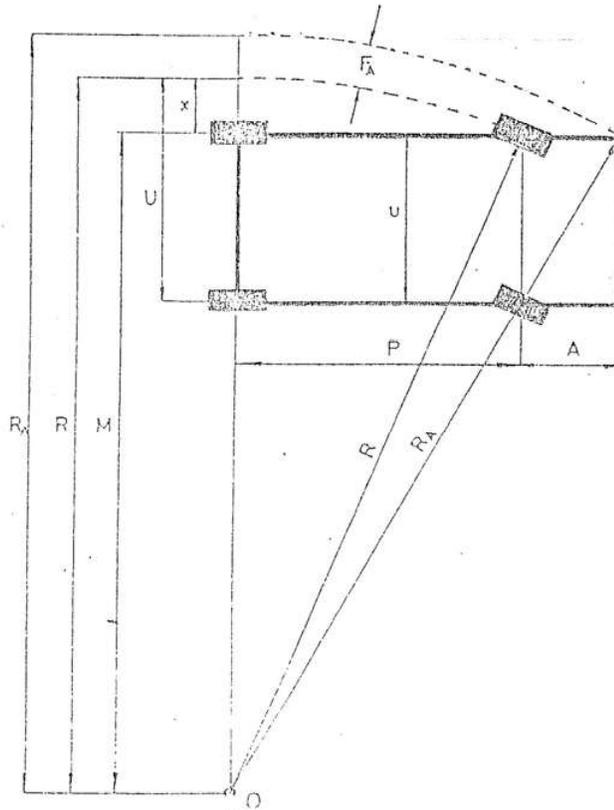


FIG. 4.13.3. VALORES DE Z, FA Y U PARA LA DETERMINACION DEL SOBREAÑO EN CALZADAS DE DOS CARRILES CON UNO O DOS SENTIDOS DE CIRCULACION. CARRETERAS RURALES.



$$U = u + x$$

$$x = R - M$$

$$R^2 = P^2 + M^2 \quad M = \sqrt{R^2 - P^2}$$

$$\Rightarrow x = R - \sqrt{R^2 - P^2}$$

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - P^2}$$

$$F_A = R_A - R$$

$$R_A^2 = (P + A)^2 + M^2$$

$$R_A^2 = (P + A)^2 + R^2 - P^2$$

$$R_A^2 = P^2 + 2PA + A^2 + R^2 - P^2$$

$$R_A^2 = R^2 + A(2P + A)$$

$$R_A = \sqrt{R^2 + A(2P + A)}$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + A(2P + A)} - R$$

Por último el ancho adicional Z debido a la dificultad para conducir en curvas puede ser expresado:

$$Z = \frac{V}{9,6 \sqrt{R}} \quad 4.13.7$$

siendo V velocidad de diseño, en km/h

En la figura 4.13.3 se grafican los valores de U, FA y Z según las expresiones 4.13.4, 4.13.6 y 4.13.7 respectivamente.

Con la expresión 4.13.1 y los valores de los gráficos de la figura 4.13.3 se ha construido la tabla 4.13.1, donde se consignan valores de sobreancho en función del radio de curva y la velocidad de diseño, para distintos anchos de calzada en carreteras rurales de dos carriles con uno o dos sentidos de circulación.

Como criterio de trabajo se han despreciado sobreanchos inferiores a 0,50 metros dado su escaso aporte en cuanto al mejoramiento de las condiciones de circulación. Los valores obtenidos se expresan con aproximación a la décima de metro.

Sobre carreteras indivisas de tres carriles los valores de sobreancho de la tabla 4.13.1 deben ser multiplicados por 1,5, y en carreteras de cuatro carriles por 2,0.

Cuando la incidencia de las unidades combinadas sea significativa en la composición del tránsito, los valores del sobreancho deben ser incrementados en 0,15 metros para radios comprendidos entre 100 y 200 metros, y en 0,30 metros para radios inferiores a 100 metros.-

La tabla 4.13.1 no tiene validez para sobreanchos en intersecciones.

TABLA 4.13.1.

VALORES DE SOBREALCHHO (m) EN CURVA
CARRITERAS RURALES DOS CARRILES
UNO O DOS SENTIDOS DE CIRCULACION

GRADO DE CURVATURA D°	RADIO R (m)	ANCHO CALZADA = 7.30 m.						ANCHO CALZADA = 6.70 m.						ANCHO CALZADA = 6.10 m.						RADIO R (m)	GRADO DE CURVATURA D°						
		VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)						VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)						VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)													
		30	40	50	60	70	80	30	40	50	60	70	80	30	40	50	60	70	80			90	100	110	120		
58.21	30	1.8						2.1																	30	58.21	
43.66	40	1.3						1.6																		40	43.66
34.93	50	1.1	1.2					1.4	1.5																	50	34.93
29.11	60	0.9	1.0					1.2	1.3																	60	29.11
24.75	70	0.8	0.9					1.0	1.2																	70	24.75
21.83	80	0.7	0.8	0.9				0.9	1.1	1.2																80	21.83
17.40	90	0.6	0.7	0.8				0.9	1.0	1.1																90	17.40
17.46	100	0.5	0.6	0.7				0.8	0.9	1.0																100	17.46
14.55	120	0.0	0.5	0.6	0.7			0.7	0.8	0.9	1.0															120	14.55
12.47	140	0.0	0.0	0.5	0.6			0.6	0.7	0.8	0.9															140	12.47
10.91	160	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9														160	10.91
9.70	180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1												180	9.70
8.73	200	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1											200	8.73
7.94	220	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1											220	7.94
6.99	250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1											250	6.99
5.82	300								0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0										300	5.82
4.99	350								0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0										350	4.99
4.37	400								0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0									400	4.37
3.49	500								0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0								500	3.49
2.91	600								0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0								600	2.91
2.18	800								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0							800	2.18
1.75	1000								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0						1000	1.75
1.46	1200								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0						1200	1.46
1.16	1500								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0						1500	1.16
0.87	2000								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0						2000	0.87

NOTAS: CALZADAS DE 3 CARRILES MULTIPLICAR POR 1.5
CALZADAS DE 4 CARRILES MULTIPLICAR POR 2.0

4.14.- DESARROLLO DEL SOBREANCHO

El desarrollo del sobreancho debe ser efectuado gradualmente a fin de lograr trayectorias favorables en la circulación vehicular y obtener razonables condiciones estéticas de los bordes de la calzada.

En relación al sobreancho pueden hacerse las siguientes recomendaciones:

a) Sobre curvas sin transición el sobreancho debe ser efectuado solamente sobre el borde interior de la calzada. Sobre curvas con transición el sobreancho puede ser aplicado sobre el borde interior (solución más favorable), o bien dividido en partes iguales entre los bordes interno y externo.

b) El sobreancho debe ser desarrollado gradualmente sobre una longitud suficiente que permita acomodar al tránsito en la condición de circulación en curva. Es aconsejable que la variación en el ancho de la calzada se realice en coincidencia con el desarrollo del peralte.

c) El borde del carril en calzadas con sobreancho debe tener la apariencia de una curva amplia y agradable.

En todos los casos deben redondearse los terminales del desarrollo del sobreancho a fin de eliminar quiebres angulares de efectos visuales desfavorables en los bordes de la calzada.

d) Los planos de detalle del desarrollo del sobreancho suelen ser realizados durante la construcción de las obras.

4.15.- CALCULO DE CURVAS CON TRANSICION4.15.1.- Introducción

La figura 4.15.1 presenta el dibujo planimétrico de una curva circular con dos espirales de transición. La notación utilizada responde al siguiente detalle:

- V : punto de intersección de los alineamiento rectos
 Δ : ángulo de quiebre de los alineamientos rectos
 TE : punto de enlace entre la tangente (alineamiento recto) y la espiral (principio de la curva)
 EC : punto de enlace entre la curva espiral y la circular
 CC : centro de la curva
 CE : punto de enlace entre la curva circular y la espiral
 ET : punto de enlace entre la espiral y la tangente (fin de la curva)
 R_c : radio de la curva circular
 L_e : longitud de la curva espiral
 L_c : longitud de la curva circular
 T_e : longitud de la tangente (entre TE y V y entre V y ET)
 E_e : externa de la curva (distancia entre CC y V)
 TL : tangente larga de la espiral
 TC : tangente corta de la espiral
 CL : cuerda de la espiral
 k,p : coordenadas de PC respecto a la tangente *p: retranqueo*
 Δ_c : ángulo central correspondiente a la curva circular
 e_e : ángulo de las tangentes extremas de la espiral (entre TL y TC)
 ϕ_e : ángulo de deflexión desde el principio al fin de la espiral en relación a la tangente
 ϕ_c : ángulo de deflexión de la curva circular para un segmento de circunferencia cualquiera
 ϕ : ángulo de deflexión de la curva espiral desde el origen a un punto cualquiera en relación a la tangente
 x_c, y_c : coordenadas de EC y CE con respecto al origen de la curva espiral
 x, y : coordenadas de un punto cualquiera de la espiral respecto a su origen
 L : longitud de la espiral para un punto cualquiera (x,y)
 R : radio de curva de un punto de la espiral de coordenadas (x,y)
 e : ángulo entre las tangentes de la espiral correspondientes al principio de curva y a un punto cualquiera (x,y)

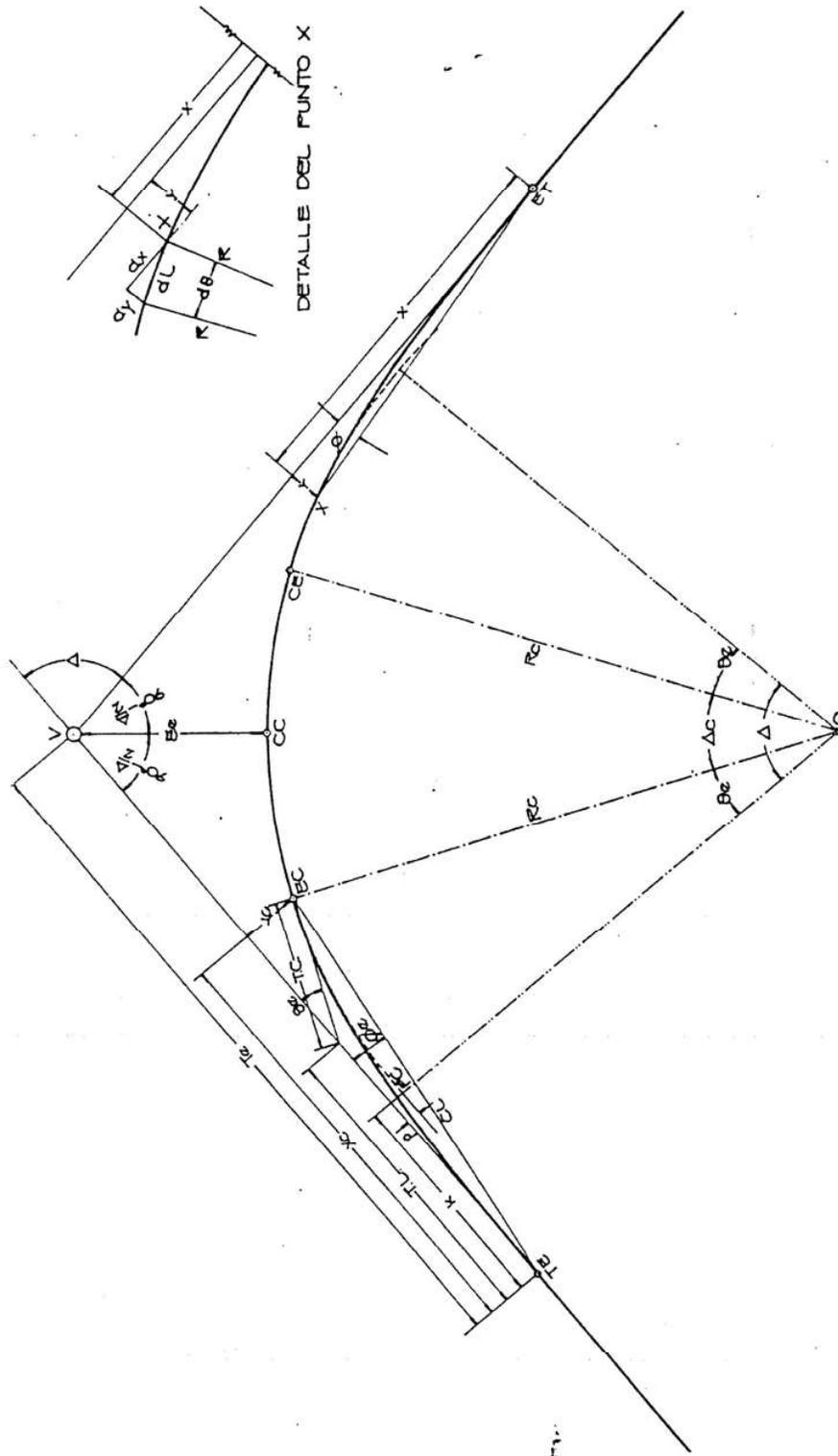


FIG. 4.15.1. CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES DE TRANSICION.

4.15.2.- Cálculo de θ y θ_e

Sea un segmento diferencial de la curva espiral, figura 4.15.1:

$$dL = R \cdot d\theta \quad 4.15.1$$

La curva espiral responde a la siguiente ecuación:

$$L \cdot R = K_0 = L_e \cdot R_c = \text{constante} \quad 4.15.2$$

luego puede escribirse:

$$R = \frac{L_e}{L} R_c \quad 4.15.3$$

Reemplazando en 4.15.1:

$$d\theta = \frac{L}{L_e \cdot R_c} dL \quad 4.15.4$$

e integrando:

$$\theta = \frac{L^2}{2 L_e \cdot R_c} \quad (\text{en radianes}) \quad 4.15.5$$

En el caso particular que $\theta = \theta_e$:

$$\theta_e = \frac{L_e}{2 R_c} \quad (\text{en radianes}) ; \theta_e = \frac{90 L_e}{\pi R_c} \quad (\text{en grados}) \quad 4.15.6$$

La ecuación 4.15.5 también puede ser expresada:

$$\theta = \theta_e \left(\frac{L}{L_e} \right)^2 \quad 4.15.7$$

4.15.3.- Cálculo de las coordenadas (x,y) de un punto cualquiera de la espiral

Si se considera un segmento diferencial dL de la curva espiral:

$$dx = dL \cos \theta \quad 4.15.8$$

$$dy = dL \sin \theta \quad 4.15.9$$

Desarrollando en serie las funciones sen θ y cos θ :

$$dx = dL \left(1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \frac{\theta^6}{6!} + \dots \right) \quad 4.15.10$$

$$dy = dL \left(\theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \right) \quad 4.15.11$$

Reemplazando θ según 4.15.7:

$$dx = dL \left[1 - \frac{\theta e^2}{2!} \left(\frac{L}{Le} \right)^4 + \frac{\theta e^4}{4!} \left(\frac{L}{Le} \right)^8 - \frac{\theta e^6}{6!} \left(\frac{L}{Le} \right)^{12} + \dots \right] \quad 4.15.12$$

$$dy = dL \left[\theta e \left(\frac{L}{Le} \right)^2 - \frac{\theta e^3}{3!} \left(\frac{L}{Le} \right)^6 + \frac{\theta e^5}{5!} \left(\frac{L}{Le} \right)^{10} - \dots \right] \quad 4.15.13$$

Integrando:

$$x = L \left[1 - \frac{\theta e^2}{2! \cdot 5} \left(\frac{L}{Le} \right)^4 + \frac{\theta e^4}{4! \cdot 9} \left(\frac{L}{Le} \right)^8 - \frac{\theta e^6}{6! \cdot 13} \left(\frac{L}{Le} \right)^{12} + \dots \right] \quad 4.15.14$$

$$y = L \left[\frac{\theta e}{3} \left(\frac{L}{Le} \right)^2 - \frac{\theta e^3}{3! \cdot 7} \left(\frac{L}{Le} \right)^6 + \frac{\theta e^5}{5! \cdot 11} \left(\frac{L}{Le} \right)^{10} - \dots \right] \quad 4.15.15$$

Expresando en función de θ :

$$x = L \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} + \dots \right) \quad 4.15.16$$

$$y = L \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \dots \right) \quad 4.15.17$$

Despreciando los valores con exponentes superiores a 4 por no incidir prácticamente en el resultado dado su escaso valor:

$$\begin{aligned} x &= L \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} \right) = \\ &= \frac{L}{100} \left[100 - 2,5 \left(\frac{L^2}{Le \cdot Rc} \right)^2 + 0,029 \left(\frac{L^2}{Le \cdot Rc} \right)^4 \right] \quad 4.15.18 \end{aligned}$$

$$y = L \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} \right) = \frac{L^3}{6 \cdot Le \cdot Rc} \left[1 - 0,01786 \left(\frac{L^2}{Le \cdot Rc} \right)^2 \right] \quad 4.15.19$$

Los valores de x_c e y_c pueden ser expresados:

$$x_c = Le \left(1 - \frac{\theta_e^2}{10} + \frac{\theta_e^4}{216} \right) = \frac{Le}{100} \left[100 - 2,5 \left(\frac{Le}{R_c} \right)^2 + 0,029 \left(\frac{Le}{R_c} \right)^4 \right] \quad 4.15.20$$

$$y_c = Le \left(\frac{\theta_e}{3} - \frac{\theta_e^3}{42} \right) = \frac{Le^2}{6 \cdot R_c} \left[1 - 0,01786 \left(\frac{Le}{R_c} \right)^2 \right] \quad 4.15.21$$

4.15.4.- Cálculo de k y p

De la figura 4.15.1 puede expresarse:

$$p = y_c - R_c (1 - \cos \theta_e) \quad 4.15.22$$

$$k = x_c - R_c \text{ sen } \theta_e \quad 4.15.23$$

Desarrollando en serie las funciones $\cos \theta_e$ y $\text{sen } \theta_e$:

$$p = y_c - R_c \left(1 - 1 + \frac{\theta_e^2}{2!} - \frac{\theta_e^4}{4!} + \dots \right) \quad 4.15.24$$

$$k = x_c - R_c \left(\theta_e - \frac{\theta_e^3}{3!} + \frac{\theta_e^5}{5!} - \dots \right) \quad 4.15.25$$

Despreciando valores con exponentes superiores a 4 y reemplazando y_c y x_c respectivamente:

$$p = \frac{Le \cdot \theta_e}{12} - \frac{Le \cdot \theta_e^3}{336} = \frac{Le \cdot \theta_e}{12} \left(1 - \frac{\theta_e^2}{28} \right) \quad 4.15.26$$

$$k = \frac{Le}{2} \left(1 - \frac{\theta_e^2}{30} + \frac{\theta_e^4}{108} \right) \quad 4.15.27$$

Expresando en función de R_c :

$$p = \frac{Le^2}{24 R_c} \left[1 - 0,00893 \left(\frac{Le}{R_c} \right)^2 \right] \quad 4.15.28$$

$$k = \frac{Le}{2} \left[1 - 0,00833 \left(\frac{Le}{R_c} \right)^2 + 0,00058 \left(\frac{Le}{R_c} \right)^4 \right] \quad 4.15.29$$

4.15.5.- Cálculo del ángulo de deflexión ϕ

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{y}{x} = \frac{L \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{42} + \frac{\theta^5}{1320} - \frac{\theta^7}{75600} \right)}{L \left(1 - \frac{\theta^2}{10} + \frac{\theta^4}{216} - \frac{\theta^6}{9360} \right)} \quad 4.15.30$$

dividiendo:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{y}{x} = \frac{\theta}{3} + \frac{\theta^3}{105} + \frac{\theta^5}{5997}$$

El valor de ϕ puede ser expresado:

$$\phi = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{y}{x} = \frac{y}{x} - \frac{1}{3} \left(\frac{y}{x} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{y}{x} \right)^5 - \frac{1}{7} \left(\frac{y}{x} \right)^7 \quad 4.15.31$$

operando:

$$\phi = \frac{\theta}{3} - (0,00282 \theta^3 + 0,00007 \theta^5) = \frac{\theta}{3} - C \quad 4.15.32$$

El término entre paréntesis se denomina C y expresándolo en segundos puede escribirse:

$$C = 0,0031 \theta^3 + 0,0023 \theta^5 \cdot 10^{-5}$$

El valor de C para ángulos θ menores de 15° puede ser despreciado; para ángulos mayores de 15° asume los siguientes valores:

Tabla 4.15.1 VALORES DE C EN FUNCION DE θ							
θ	C	θ	C	θ	C	θ	C
10°	0' 03"	20°	0' 25"	30°	1' 24"	40°	3' 21"
11	0 04	21	0 29	31	1 33	41	3 36
12	0 05	22	0 33	32	1 42	42	3 53
13	0 07	23	0 38	33	1 52	43	4 10
14	0 09	24	0 43	34	2 03	44	4 28
15	0 11	25	0 49	35	2 14	45	4 47
16	0 13	26	0 55	36	2 26	46	5 06
17	0 15	27	1 01	37	2 38	47	5 27
18	0 18	28	1 08	38	2 52	48	5 49
19	0 21	29	1 16	39	3 06	49	6 11

La 4.15.32 también puede ser expresada:

$$\phi = \frac{\theta_e}{3} \left(\frac{L}{L_e} \right)^2 - c \quad 4.15.33$$

4.15.6.- Cálculo de Te y Ee

De la figura 4.15.1 puede deducirse:

$$Te = (R_c + p) \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} + k \quad 4.15.34$$

$$Ee = (R_c + p) \sec \frac{\Delta}{2} - R_c \quad 4.15.35$$

$$Ee = (R_c + p) (\sec \frac{\Delta}{2} - 1) + p \quad 4.15.36$$

4.15.7.- Cálculo de TC y TL

$$TC = \frac{yc}{\operatorname{sen} \theta_e} \quad 4.15.37$$

Reemplazando:

$$TC = \frac{Le}{3} \left[\frac{1 - \frac{\theta_e^2}{14}}{1 - \frac{\theta_e^2}{6}} \right] \quad 4.15.38$$

$$TL = x_c - \frac{y_c}{\operatorname{tg} \theta_e} \quad 4.15.39$$

También puede expresarse:

$$TL = x_c - TC \cdot \cos \theta_e \quad 4.15.40$$

4.15.8.- Cálculo de la longitud de la curva circular

$$\Delta_c = \Delta - 2 \theta_e = \Delta - \frac{180^\circ Le}{\pi R_c} \quad 4.15.41$$

$$L_c = \frac{\pi \cdot R_c \cdot \Delta_c}{180^\circ} = \frac{\pi \cdot R_c \cdot \Delta}{180^\circ} - Le \quad 4.15.42$$

Como

$$L_c + Le = \frac{\pi \cdot R_c \cdot \Delta}{180^\circ} \quad 4.15.43$$

el desarrollo o longitud total de la curva con transición será:

$$Des = L_c + 2 Le = \frac{\pi \cdot R_c \cdot \Delta}{180^\circ} + Le \quad 4.15.43$$

4.15.9.- Uso de tablas

Los elementos característicos de las curvas pueden ser tabulados en tablas a fin de simplificar el cálculo de aquéllas que tengan transición.

En nuestro país se usa en forma casi exclusiva la tabla de "Curvas con transiciones para caminos" de J. Barnett editada por la Dirección Nacional de Vialidad.

Otras publicaciones también tabulan el cálculo de las curvas con transición mediante diversos métodos. Entre las más utilizadas pueden citarse: {

- "Levantamientos y trazado de caminos" Ing. T. Hickerson Editorial Mc Graw - Hill Book Company - 1968.
- "Curvas de transición en carreteras" Ings. Krenz y Osterloh - Editorial Tecnos S.A. - 1961.
- "Manual de replanteo de curvas" O. Sarrazin y H. Oberbeck - Editorial G. Gili S.A. - 1959.

4.16.- CURVAS SIN TRANSICION

Cuando el desplazamiento p entre la curva circular y la tangente es menor de 0,075 metros se considera in necesaria la utilización de curvas de transición. En estas condiciones el conductor puede describir una trayectoria de transición con absoluta seguridad y confort dentro de los límites normales de su carril.

La expresión de p, de acuerdo a lo definido en la ecuación 4.15.28, es la siguiente:

$$P = \frac{Le^2}{24 Rc} \left[1 - 0,00893 \left(\frac{Le}{Rc} \right)^2 \right]$$

Por ser de escasa significación su incidencia en el valor de p, el término entre corchetes puede igualarse a 1.

Reemplazando Le por los valores mínimos de la tabla 4.9.3, pueden obtenerse los radios de curva circular mínimos para los cuales no es necesario desarrollar curvas con transición.

Velocidad de Diseño (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Radio mínimo (m)	161	269	436	605	845	1076	1389	1742	2057	2494

AASHO 1965 adopta como criterio, para considerar innecesario el diseño de curvas con transición, aquellos radios de curvas con peraltes inferiores a 3%, valores que son muy similares a los consignados en la tabla 4.16.1.

4.17.- CALCULO DE CURVAS SIN TRANSICION4.17.1.- Conceptos generales

Este tipo de curvas se utiliza en quiebres pequeños de alineamientos rectos donde generalmente no se presentan limitaciones de orden geométrico en cuanto a la adopción del radio. También se emplea en el diseño de intersecciones de rutas y en el proyecto de calles urbanas.

Notaciones

V : punto de intersección de los alineamientos rectos
 Δ : ángulo de quiebre de los alineamientos rectos
 Rc: radio de la curva circular
 TC: punto de enlace entre la tangente (alineamiento recto) y la curva (principio de curva)
 CC: centro de curva
 CT: punto de enlace entre la curva y la tangente (fin de curva)
 Tg: longitud de la tangente (entre TC y V y entre V y CT)
 Lc: desarrollo de la curva
 Ec: externa de la curva

4.17.2.- Determinación de los valores característicos4.17.2.1.- Radios mínimos

Los valores de radios mínimos que no requieren transición pueden ser obtenidos de las tablas 4.12.1, 4.12.2 y 4.12.3 en base a las consideraciones ya expuestas.

Para pequeños ángulos de quiebre de los alineamientos rectos deben diseñarse curvas lo suficientemente largas como para evitar la apariencia de quiebres. Se recomienda, para controlar dicho efecto visual desfavorable, diseñar curvas de por lo menos 150 metros de longitud para ángulos de 5°. Esta longitud debe ser incrementada en 30 metros por cada grado de disminución del quiebre angular en relación a los 5° mencionados.

Los radios mínimos resultantes de aplicar el criterio antedicho se expresan en el gráfico de la figura 4.17.2.

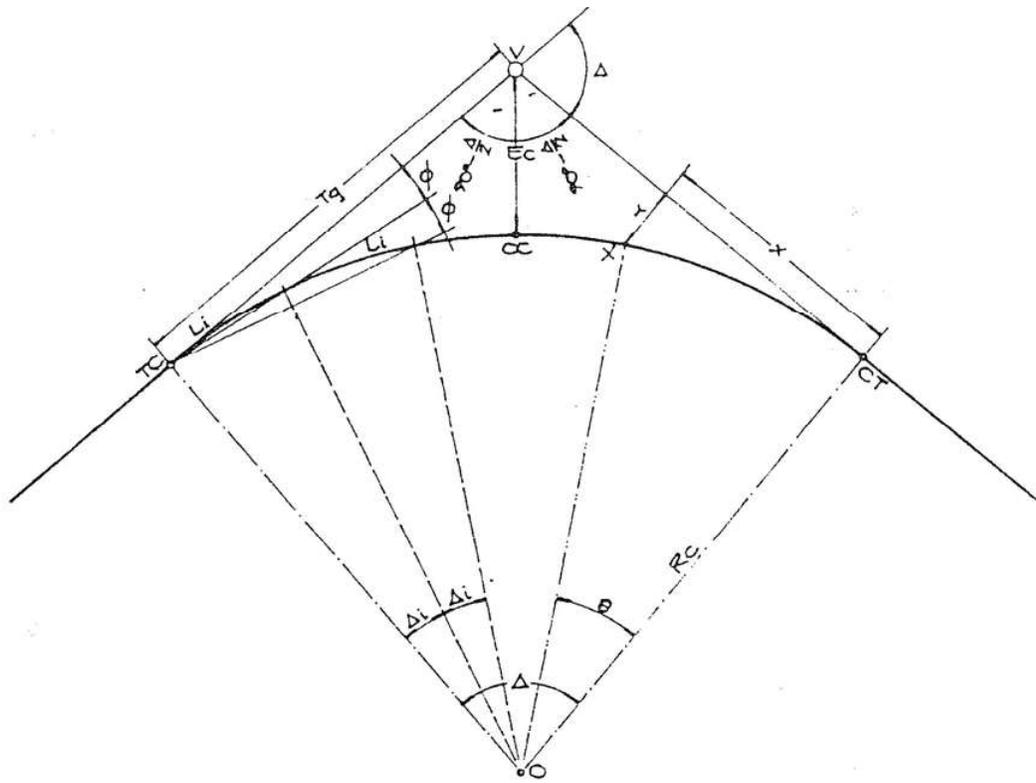


FIG. 4.17.1. CURVA HORIZONTAL CIRCULAR.

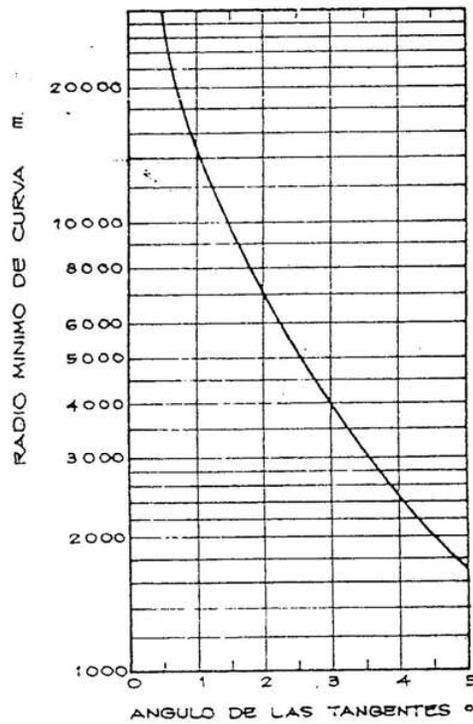


FIG. 4.17.2. RADIOS MINIMOS DE CURVA PARA PEQUEÑOS QUIEBRES DE ALINEAMIENTOS.

4.17.2.2.- Tangente

De la figura 4.17.1 puede expresarse

$$Tg = R_C \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta}{2} \quad 4.17.1$$

4.17.2.3.- Externa

$$E_C = R_C \left(\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) \quad 4.17.2$$

4.17.2.4.- Longitud de la curva

Denominada también desarrollo

$$L_C = \frac{R_C \cdot \pi \cdot \Delta}{180^\circ} \quad 4.17.3$$

4.17.2.5.- Puntos intermedios

Pueden ser obtenidos mediante dos procedimientos:

a) Por coordenadas

Sean (x,y) las coordenadas correspondientes a un punto que define una dada longitud de curva circular L_x medida desde su origen (TC o CT)

$$x = R_C \operatorname{sen} \theta \quad 4.17.4$$

$$\theta = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{L_x}{R_C} \quad (\text{en grados}) \quad 4.17.5$$

Reemplazando:

$$x = R_C \cdot \operatorname{sen} \left[\frac{180^\circ}{\pi} \frac{L_x}{R_C} \right] \quad 4.17.6$$

Por otra parte y puede ser expresado:

$$y = R_C - \sqrt{R_C^2 - x^2} \quad 4.17.7$$

Este método se aplica generalmente en el replanteo de curvas circulares de grandes radios.

b) Por ángulos de deflexión

Este método se basa en la siguiente propiedad de los arcos circulares: los ángulos ^{semi-}inscriptos en una circunferencia que abarcan arcos iguales son iguales entre sí, e iguales a la mitad del correspondiente ángulo al centro.

Esto puede ser expresado:

$$\phi = \frac{\Delta i}{2} \quad 4.17.8$$

El valor del arco L_i queda definido por la siguiente ecuación:

$$L_i = \frac{\pi \cdot R_C \cdot \Delta i}{180^\circ} \quad 4.17.9$$

Reemplazando en 4.17.8

$$\phi = \frac{90}{\pi} \cdot \frac{L_i}{R_C} = 28,648 \frac{L_i}{R_C} \quad 4.17.10$$

expresión que permite calcular los ángulos de deflexión en función del arco de círculo y del radio.

Este sistema de replanteo es de suma practicidad en curvas de bajas a moderados radios.

4.17.2.6.- Cálculo de curvas

El cálculo de las curvas puede realizarse mediante el uso de tablas que resuelvan las ecuaciones expresadas anteriormente.

Numerosos autores, mediante diferentes procedimientos, han confeccionado diversos tipos de tablas con tal fin. Entre las más utilizadas pueden citarse:

- "Tabla para el trazado de curvas" Jules Gaunin - Editorial AEME - 1961.
- "Manual de replanteo de curvas" O. Sarrazin y H. Oberbeck - Editorial G. Gili S.A. - 1959.

4.18.- CURVAS COMPUESTAS POR ARCOS CIRCULARES DE TRES CENTROS

Son curvas utilizadas generalmente en caminos que se desarrollan en topografías muy exigidas.

En estos casos las dos curvas extremas, de mayor radio que la interna, cumplen funciones de transición entre la curva central y los alineamientos rectos.

Los radios de las curvas deben cumplir con la siguiente condición:

$$R_1 < 1,5 R_2 ; R_3 < 1,5 R_2 \quad 4.18.1$$

siendo R_1 y R_3 radios de las curvas extremas
 R_2 radio de la curva interna

En la figura 4.18.1 se presenta la planimetría de una curva compuesta por tres arcos circulares.

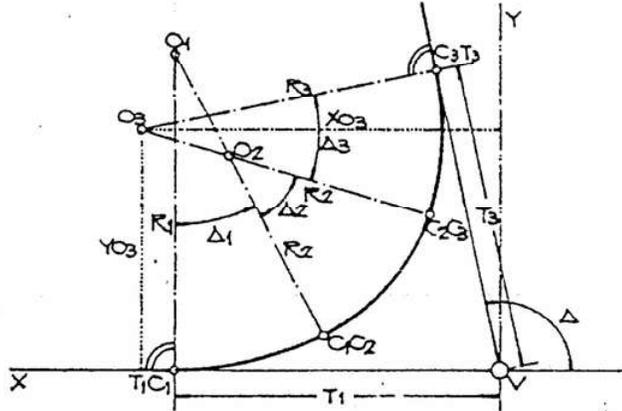


FIG.4.18.1. CURVA COMPUESTA POR TRES ARCOS CIRCULARES.

Con los datos conocidos: Δ , R_1 y R_3 se adoptan las tangentes principales T_1 y T_3 en función de un prediseño gráfico que contemple las necesidades geométricas del trazado y que defina un valor de R_2 que cumpla con la condición de las expresiones 4.18.1.

Los elementos de la curva se calculan con referencia a un sistema de coordenadas ortogonales mediante sucesivas resoluciones de triángulos.

4.19.- REVUELTAS

Las necesidades del diseño geométrico en trazados de montaña requieren un tipo característico de curva que recibe la denominación de "revuelta".

Es de uso general en los faldeos de abruptas laderas cuando las condiciones topográficas en un determinado punto permiten desarrollar en el trazado un giro de aproximadamente 360° , para continuar faldeando la misma ladera y lograr salvar los desniveles de cotas necesarios.

La revuelta puede construirse mediante dos espirales de transición y una curva de radio circular, figura 4.19.1.

La revuelta puede ser prediseñada gráficamente sobre un plano con curvas de nivel en escala adecuada, desarrollando el siguiente procedimiento:

- a) Se ubica el alineamiento recto VM continuando la definición de la traza inmediata anterior y se adopta TE.
- b) Se adopta el radio de la curva circular de manera tal que el trazado cumpla con las exigencias del diseño geométrico planialtimétrico en base a las condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas del área de ocupación de la revuelta.
- c) Se adopta la longitud de la curva espiral, que corresponde generalmente a la mínima.
- d) Con el valor k y con $(R_c + p)$ se ubica el centro de la curva circular.
- e) Trazando una circunferencia de radio $(R_c + p)$ puede definirse el alineamiento recto posterior a la curva, ya que el mismo resulta ser tangente a dicha circunferencia.
- f) Con los valores de k , x_c e y_c pueden ubicarse los puntos ET y CE sobre el alineamiento así definido.
- g) Con los datos de la curva así prediseñada se procede sobre campo al replanteo de la misma.

Las curvas espirales de transición pueden ser reemplazadas por arcos de curvas circulares, presentándose entonces el caso de curvas compuestas por arcos circulares de tres centros.

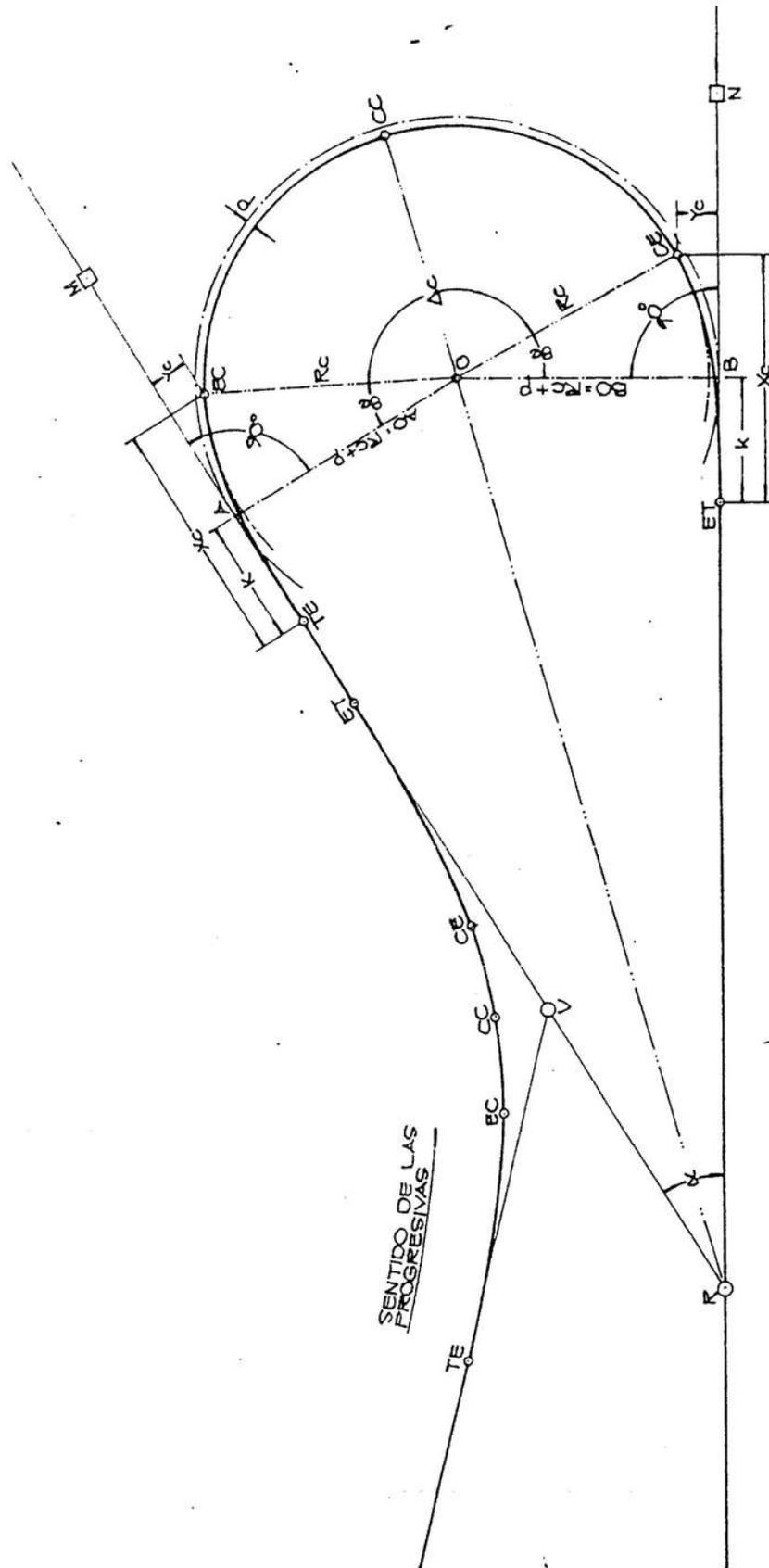


FIG. 4.17.1. REVUELTA DE ARCO CIRCULAR CON CURVAS DE TRANSICION.

4.20.- VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES

Todo alineamiento en curva debe, además de cumplir con las exigencias desarrolladas anteriormente, proveer en todo momento una correcta visibilidad para la detención del vehículo y, en determinadas circunstancias, permitir condiciones de visibilidad para operaciones de sobrepaso en calzadas de dos carriles con ambos sentidos de circulación:

Pueden presentarse dos casos:

- a) La longitud L de la curva es mayor que la distancia de visibilidad D requerida ($L > D$).

Este caso se presenta, en general, para visibilidad de detención ya que prácticamente la longitud de la curva es siempre mayor que la distancia de visibilidad de frenado.

El problema puede resolverse mediante el siguiente procedimiento, figura 4.20.1:

Asimilando el arco $D/2$ a la cuerda \overline{AC} puede expresarse:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 \cong \overline{AC}^2 = \left(\frac{AB}{2}\right)^2 + m^2 \quad 4.20.1$$

$$\left(\frac{AB}{2}\right)^2 = R^2 - (R - m)^2 \quad 4.20.2$$

siendo R radio del eje del carril interior, en m.
 D distancia de visibilidad, en m.
 m distancia del obstáculo al eje del carril interior, en m

Reemplazando:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = R^2 - (R - m)^2 + m^2 \quad 4.20.3$$

Operando

$$D^2 = 8 R \cdot m \quad 4.20.4$$

Luego

$$m = \frac{D^2}{8 R} \quad 4.20.5$$

El valor de m también puede ser expresado de la siguiente manera:

$$m = R \cdot \text{seno-verso } \alpha = R(1 - \cos \alpha) \quad 4.20.6$$

$$\text{siendo } \alpha = \frac{180}{\pi} \frac{D}{2R}$$

La ecuación precedente se representa gráficamente en la figura 4.20.2 para condiciones de visibilidad de frenado.

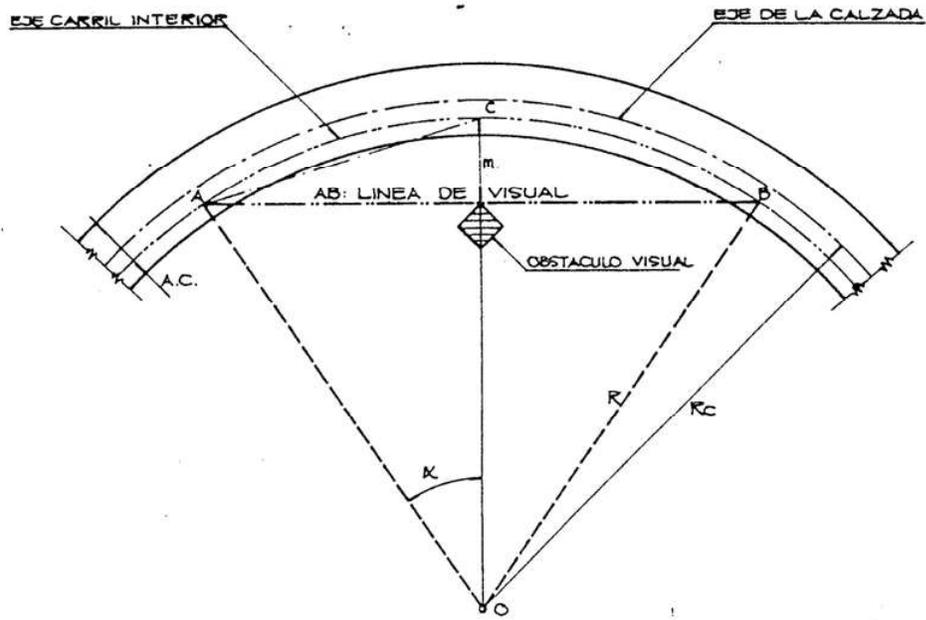


FIG. 4.20.1. DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN CURVAS HORIZONTALES

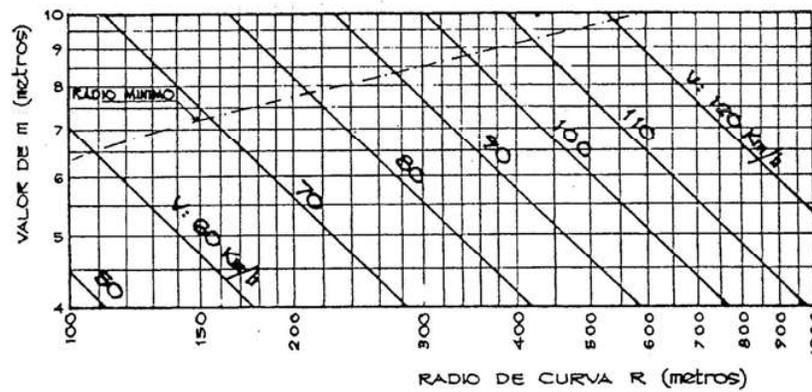


FIG. 4.20.2. DISTANCIA m DE EJE DE CARRIL INTERIOR A OBSTACULO VISUAL EN FUNCION DEL RADIO DE CURVA PARA VISIBILIDAD DE FRENADO.

En dicha gráfica puede apreciarse la escasa significación de los valores de m , ya que con radios mayores a los mínimos exigidos prácticamente la visibilidad de frenado se logra con el semicarril interior, la banquina y parte del talud.

En los casos de visibilidad de sobrepaso esta condición $L > D$ se presenta solamente en curvas con radios muy superiores a los mínimos.

b) La longitud L de la curva es menor que la distancia de visibilidad D requerida ($L < D$).

Este caso se presenta generalmente en visibilidad de sobrepaso. La solución práctica de este problema se realiza gráficamente desplazando una plantilla con la distancia mínima de sobrepaso sobre la lámina de planimetría, ya que una resolución analítica resulta sumamente laboriosa dado las variables que intervienen en el problema.

Evidentemente los obstáculos se refieren a obstrucciones en la línea visual de los conductores, debiéndose considerar a tal efecto sólo aquellos objetos con alturas superiores a la línea que une el ojo del conductor (altura del terraplén sobre el terreno natural más la distancia entre la calzada y el ojo del conductor) con el objeto en cuestión (obstáculo o vehículo según sea distancia de visibilidad de frenado o sobrepaso respectivamente).

Resumiendo, en casos de frenado la verificación de la visibilidad en curvas se resuelve mediante el gráfico de la figura 4.20.2, y la verificación de visibilidad de sobrepaso se resuelve mediante método gráfico sobre la planimetría de proyecto.

4.21.- CRITERIOS PARA EL DISEÑO PLANIMÉTRICO

En cuanto al diseño geométrico, además de las normas expresadas anteriormente debe tenerse presente una serie de recomendaciones generales.

Estas recomendaciones no están sujetas a expresiones empíricas o a limitaciones preestablecidas, pero son de importancia en cuanto al diseño de carreteras seguras, con fluidez en la circulación vehicular, y elevadas condiciones estéticas.

Las mismas responden al siguiente detalle:

1.- El alineamiento debe ser lo más directo posible dentro de lo que permitan las condiciones topográficas de la región.-

No obstante es deseable un trazado que presente una solución de continuidad entre el alineamiento horizontal y el vertical en cuanto a la integración de líneas curvas, y no alineamientos horizontales rectos que cubran ondulaciones naturales del terreno.-

2.- Deben adoptarse en lo posible valores de diseño superiores a los mínimos establecidos en las normas de diseño geométrico.-

3.- No deben introducirse curvas de bajos radios luego de largos alineamientos rectos.-

4.- Deben evitarse diseños de curvas consecutivas de muy diferentes radios.-

5.- No deben diseñarse curvas amplias sobre terraplenes altos y largos. La falta de visión de los taludes y la ausencia de arbustos y árboles por encima del plano de la calzada hacen difícil a los conductores percibir la extensión de la curva y realizar ajustes en la maniobra de conducción.-

Un adecuado diseño de barandas de seguridad disminuye estas condiciones desfavorables.-

6.- Deben eliminarse bruscas secuencias de curvas y contracurvas ya que dificultan la conducción del vehículo dentro de los límites del carril.-

~~Entre una curva y una contracurva debe incluirse una suficiente longitud de alineamiento recto (tangente extendida) para desarrollar los peraltes.-~~

7.- Deben evitarse cortos alineamientos rectos entre dos curvas de un mismo sentido ya que, en general, los conductores no esperan curvas consecutivas en un mismo sentido.-

Es común el hábito subconsciente de los conductores de esperar curvas consecutivas en distinto sentido.

Además un alineamiento sucesivamente quebrado en un mismo sentido no presenta condiciones estéticas favorables.

Estas consideraciones tienen vigencia cuando el alineamiento recto entre dos curvas consecutivas es menor de 450 metros. No obstante el trazado no presentará favorables condiciones estéticas, aún en casos de distancias mayores, si ambas curvas son visibles simultáneamente.

8.- Debe tratarse de lograr un favorable efecto estético en la composición espacial de los alineamientos planimétrico y altimétrico.

CAPITULO 4.- ALINEAMIENTO VIAL PLANIMETRICOBIBLIOGRAFIA

- A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS - AASHO 1965.
- NORMAS DE DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINOS RURALES - Ing. Federico Rühle - Edición Dirección Nacional de Vialidad - 1967.
- CURVAS CON TRANSICIONES PARA CAMINOS - Ing. J. Barnett - Edición Dirección Nacional de Vialidad.
- LEVANTAMIENTO Y TRAZADO DE CAMINOS - Ing. T. Hickerson - Editorial Mc Graw - Hill Book Company - 1968.
- CURVAS DE TRANSICION EN CARRETERAS - Ings. Krenz y Osterloh - Editorial Tecnos S.A. - 1961.
- MANUAL DE REPLANTEO DE CURVAS - O. Sarrazin y H. Oberbeck - Editorial Gili S.A. - 1959.
- TABLA PARA EL TRAZADO DE CURVAS - Jules Gaunin - Editorial AEME - 1961.
- COSTRUZIONE DI STRADE, FERROVIE ED AEROPORTI - Tomo 1 - Prof. Giuseppe Tesorieri - Editorial G. Denaro - 1961.
- A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF URBAN HIGHWAYS - AASHO 1972.