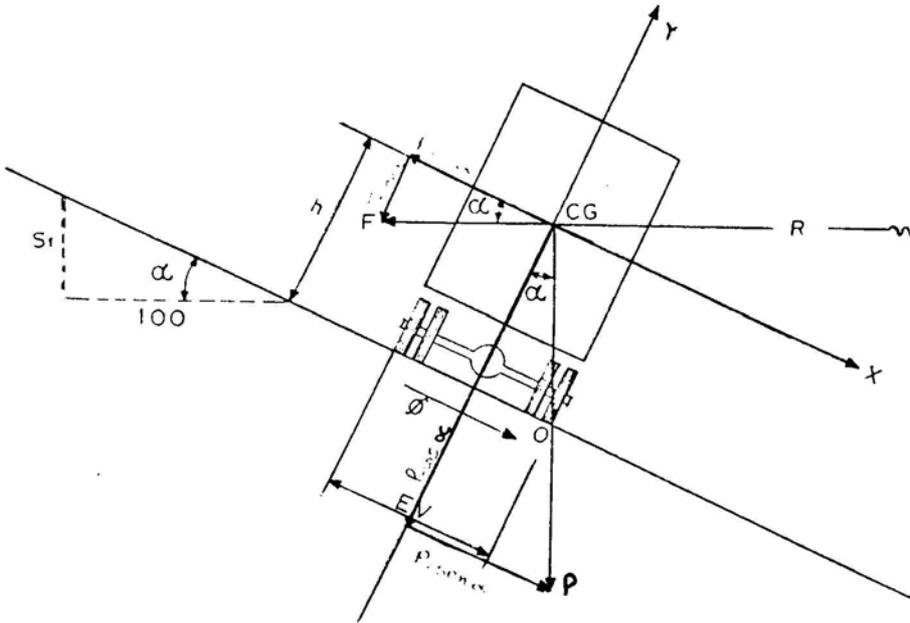


**Figura V.3 Estabilidad del vehículo en las curvas**



La fuerza centrífuga “F” se calcula según la siguiente fórmula:

$$F = \frac{m V^2}{R} = \frac{P * V^2}{gR} \quad (V.33)$$

Donde:

- P = Peso del vehículo, Kg.
- y = Velocidad de diseño, m/seg.
- g = Aceleración de la gravedad = 9.78 m/seg<sup>2</sup>.
- R = Radio de la curva circular, m.

La inestabilidad debida a la fuerza centrífuga puede manifestarse de dos maneras: por deslizamientos o por volcamiento.

La condición necesaria y suficiente para que no se produzca el vuelco es que el momento del peso respecto al eje en el punto “O” sea menor que el momento de la fuerza centrífuga respecto al mismo

eje. Si el vehículo tiene un ancho  $EV$  y la altura de su centro de gravedad es “ $h$ ”, se tendrá:

$$F_x = P \cdot \sin \alpha - F \cdot \cos \alpha = (P \tan \alpha - F) \cos \alpha \quad (V.34)$$

$$F_y = -P \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin \alpha = (-P + F \cdot \tan \alpha) \cos \alpha \quad (V.35)$$

La condición necesaria y suficiente para que el vehículo no se deslice al transitar por la curva es:

$$\sum F_x = 0 \quad (V.36)$$

$$F_x + \phi = 0 \quad (V.37)$$

Donde:

$$\phi = f \cdot P_x \cdot \cos \alpha \quad (V.38)$$

Siendo “ $f$ ” el coeficiente de fricción lateral.

Si el camino se mantiene transversalmente horizontal, la fuerza centrífuga “ $F$ ” sería absorbida exclusivamente por el peso “ $P$ ” del vehículo y el rozamiento por rotación. Esto conduce a la conclusión de que es necesario introducir el peralte de la curva, para lo cual se da al camino una inclinación transversal, de tal manera que sea ésta inclinación la que absorba parte del valor de la fuerza centrífuga.

Si se introduce el peralte en la curva, dándole una sobre elevación “ $H$ ” al borde exterior, aparecerán fuerzas que fijarán el vehículo a la calzada.

Del análisis de la figura (V.3) se desprende que las fuerzas que se resisten al deslizamiento transversal del vehículo son:  $P \cdot \sin \alpha$ ,  $F \cdot \sin \alpha$  y  $P \cdot \cos \alpha$ , mientras solamente  $F \cdot \cos \alpha$  es la que produce el deslizamiento. El coeficiente de rozamiento transversal afectaría únicamente a aquellas fuerzas normales a la calzada, esto es  $F \cdot \sin \alpha$  y  $P \cdot \cos \alpha$ .

En estas condiciones, la ecuación de equilibrio será:

$$F \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + (F \cdot \sin \alpha + P \cdot \cos \alpha) \quad (V.39)$$

Luego de hacer reemplazos y simplificaciones se llega a la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V^2}{127(\tan \alpha + f)} \quad (\text{V . 40})$$

Donde la pendiente transversal de la calzada “e” = tan  $\alpha$ . Por lo que la ecuación toma la siguiente forma:

$$e + f = \frac{V^2}{127 R} \quad (\text{V . 41})$$

De donde la fórmula para el cálculo del peralte siguiente:

$$e = \frac{V^2}{127 R} - f \quad (\text{V . 42})$$

Donde:

E = Peralte de la curva, m/m (metro por metro de ancho de la calzada).

V = Velocidad de diseño, Km/h.

R = Radio de la curva, m.

f = Máximo coeficiente de fricción lateral. (Ver cuadro V.1)

TABLA V.1

REQUERIMIENTOS	VALORES LIMITES PERMISIBLES DE "F"; SEGUN EL PAVIMENTO ESTE		
	SECO	HUMEDO	CON HIELO
ESTABILIDAD CONTRA EL VOLCAMIENTO	0,60	0,60	0,60
ESTABILIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO	0,36	0,24	0,12
COMODIDAD DEL VIAJE PARA EL PASAJERO	0,15	0,15	0,15
EXPLOTACION ECONOMICA DEL VEHICULO	0,16	0,10	0,10

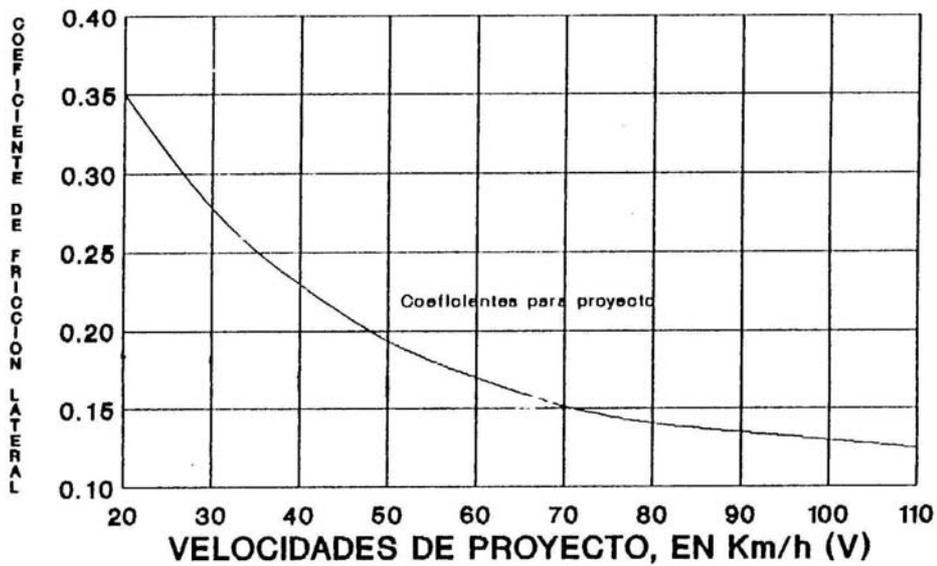


Fig. V.4 COEFICIENTES DE FRICCIÓN LATERAL PARA PROYECTO A DIFERENTES VELOCIDADES

## 1. Magnitud del Peralte.

El uso del peralte provee comodidad y seguridad al vehículo que transita sobre el camino en curvas horizontales, sin embargo el valor del peralte no debe sobrepasar ciertos valores máximos ya que un peralte exagerado puede provocar el deslizamiento del vehículo hacia el interior de la curva cuando el mismo circula a baja velocidad. Debido a estas limitaciones de orden práctico, no es posible compensar totalmente con el peralte la acción de la fuerza centrífuga en las curvas pronunciadas, siendo necesario recurrir a la fricción, para que sumado al efecto del peralte, impida el deslizamiento lateral del vehículo, lo cual se lo contrarresta al aumentar el rozamiento lateral.

En base a investigaciones realizadas, se ha adoptado el criterio de contrarrestar con el peralte aproximadamente el 55% de la fuerza centrífuga; el restante 45% lo absorbe la fricción lateral.

Se recomienda para vías de dos carriles un peralte máximo del 10% para carreteras y caminos con capas de rodadura asfáltica, de concreto o empedrada para velocidades de diseño mayores a 50 Km/h; y del 8% para caminos con capa granular de rodadura (caminos vecinales tipo 4, 5 y 6) y velocidades hasta 50 Km/h.

Para utilizar los valores máximos del peralte deben tenerse en cuanto los siguientes criterios para evitar:

- Un rápido deterioro de la superficie de la calzada en caminos de tierra, subbase, por consecuencia del flujo de aguas de lluvia sobre ellas.
- Una distribución no simétrica del peso sobre las ruedas del vehículo, especialmente los pesados.
- El resbalamiento dentro de la curva del vehículo pesado que transita a una velocidad baja.

## 2. Desarrollo del Peralte.

Cada vez que se pasa de una alineación recta a una curva, se tiene que realizar una transición de una sección transversal, de un estado de sección normal al estado de sección completamente peraltada o viceversa, en una longitud necesaria para efectuar el desarrollo del peralte.

Se debe encontrar la manera de hacer variar la fuerza centrífuga del valor cero, que tiene en la alineación recta, al valor “F” que tiene una curva de radio “R”. El desarrollo o transición del peralte puede efectuarse con una curva de enlace, que regule la trayectoria del vehículo durante su recorrido en la transición, o sin curva de enlace, dependiendo de dos factores que son: El valor del radio de la curva que se peralta y la comodidad del recorrido vehicular para realizar el peraltado de las curvas y la transición del peralte; existen tres métodos:

- a. Haciendo girar la calzada alrededor de su eje (para terrenos montañosos).
- b. Haciendo girar la calzada alrededor de su borde interior (para terrenos en llano).
- c. Haciendo girar la calzada alrededor de su borde exterior.

El método que se adopte depende en gran parte de la topografía del terreno y de las facilidades de drenaje. En función de estas consideraciones, el cálculo de la longitud total del desarrollo del peralte se lo realiza de la siguiente manera:

- a. Se determina si la transición del peralte la hacemos a lo largo de una curva de enlace. Si es así, se calcula la longitud de esta curva con la ecuación (V.4).
- b. Se calcula el valor de la sobrelevación que produce el peralte “e”

$$* \quad h = e * b \quad (V . 43)$$

Donde:

h = Sobrelevación, m.

e = Peralte, %.

b = Ancho de la calzada, m.

\* Es para el caso de giro alrededor del eje.

c. Se calcula la longitud “L” de desarrollo del peralte en función de la gradiente de borde “i”, cuyo valor se obtiene en función de la velocidad de diseño y se representa en el cuadro adjunto V.2

$$L = \frac{h}{2*i} = \frac{e*b}{2*i} \quad (V . 44)$$

Donde:

i = gradiente de borde, que se calcula según la siguiente fórmula:

$$i = \frac{e*b}{2} L \quad (V . 45)$$

d. Se establece la relación entre “L” y “Le” y se asume como longitud de la transición el valor que sea mayor, de los dos.

e. Se calcula la longitud de la transición del bombeo, en la sección normal, para lo cual se determina la diferencia de nivel del eje al borde de la vía:

$$S = \frac{b*P}{2} \quad (V . 46)$$

Donde:

S = Diferencia de nivel de eje al borde de la vía, en metros.

P = Pendiente transversal del camino, %.

b = Ancho de la calzada, m.

f. Se establece a continuación la longitud necesaria, dentro de la tangente, para realizar el giro del plano del carril exterior hasta colocarlo a nivel con la horizontal.

$$x = \frac{S}{i} = \frac{b*P}{2*i} \quad (V . 47)$$

g. Finalmente se establece la longitud total de transición.

$$L_T = L + X \quad (V . 48)$$

El desarrollo del peralte, para el caso que se usen espirales se los hace dentro de la longitud de la espiral, a lo largo de toda su magnitud, repartiendo el sobrancho mitad hacia el lado externo y mitad hacia el interno.

Cuando el desarrollo del peralte se lo hace sin la curva de enlace, la longitud de transición se ubica 2/3 en la alineación recta y el 1/3 dentro de la curva circular. Para casos difíciles (sin espirales), el peralte puede desarrollarse la mitad (0.5 L) en la recta y la mitad en curva circular.

Los valores recomendados de las gradientes longitudinales “i” para el desarrollo del peralte se ubican en el siguiente cuadro.

**CUADRO V.2**

**GRADIENTE LONGITUDINAL (i) NECESARIA PARA EL DESARROLLO DEL PERALTE**

<b>V<sub>D</sub>, KM/h</b>	<b>VALOR DE (i), %</b>	<b>MAXIMA PENDIENTE EQUIVALENTE.</b>
20	0,800	1:125
25	0,775	1:129
30	0,750	1:133
35	0,725	1:138
40	0,700	1:143
50	0,650	1:154
60	0,600	1:167
70	0,550	1:182
80	0,500	1:200
90	0,470	1:213
100	0,430	1:233
110	0,400	1:250
120	0,370	1:270

### 3. Longitud de Transición.

La longitud de transición sirve para efectuar la transición de las pendientes transversales entre una sección normal y otra peraltada alrededor del eje de la vía o de uno de sus bordes. La longitud mínima se determina según los siguientes criterios:

- La diferencia entre las pendientes longitudinales de los bordes y el eje de la calzada, no debe ser mayor a los valores máximos indicados en el cuadro anterior (V.2)
- La longitud de transición según el primer criterio debe ser mayor a la distancia necesaria de un vehículo que transita a una velocidad de diseño determinada durante 2 segundos es decir:

$$L_{\min} = 0,56 V \quad \text{Km/h} \quad (\text{V. 49})$$

Valor considerado como mínimo absoluto que puede utilizarse solamente para caminos con relieve montañoso difícil, especialmente en las zonas de estribaciones y cruce de la cordillera de los Andes.

La longitud de transición para caminos de 4 y 6 carriles se incrementa en 1,5 y 2,5 veces con respecto a la longitud para caminos de 2 carriles.

### 4. Longitud Tangencial.

Es la longitud necesaria para empezar a inclinar transversalmente la calzada en la tangente a partir de un punto anterior al "TE" de la curva espiralizada que se va a peraltar o, en el caso de la curva circular de un punto anterior al inicio de la transición de tal manera que la faja exterior de la calzada pase de su posición inclinada por el bombeo a la posición horizontal en el punto de inicio de la transición.

La longitud tangencial, también llamada de aplanamiento se obtiene según la siguiente fórmula (en función de la longitud de transición).

$$X = \frac{e' * L}{e} \quad (\text{V. 50})$$

Donde:

$e'$  = Pendiente lateral de bombeo, %.

$e$  = Peralte en la curva circular, %.

$L$  = Longitud de transición del peralte, m.

## E. TANGENTE INTERMEDIA MÍNIMA

Es la distancia entre el fin de la curva anterior y el inicio de la siguiente.

En el caso de dos curvas circulares consecutivas; Es la distancia entre el PT de la curva inicial y el PC de la curva siguiente.

Las longitudes de transición se dividen en:  $2/3 L$  en tangente (antes del PC y después del PT), y  $1/3 L$  en la curva, (después del PC y antes del PT), se aplica la siguiente fórmula:

$$T_{IM} = \frac{2L_1}{3} + \frac{2L_2}{3} + X_1 + X_2 \quad (V.51)$$

Donde:

$T_{IM}$  = Tangente intermedia mínima, m

$L_{1,2}$  = Longitud de transición, m

$X_{1,2}$  = Longitud tangencial, m

La longitud mínima del arco circular (o transición de bombeo) =  $1/3(L_1+L_2)$

Cuando existen condiciones críticas, en el diseño geométrico, que no permitan aplicar los valores de  $T_{IM}$  obtenidos con la ecuación (V.51), se puede optar por una solución, que sin ser la óptima, permite adaptar mejor el proyecto a las condiciones topográficas existentes.

Esta solución consiste en distribuir la longitud de transición, 50 % en tangente y 50 % en la curva circular.

En este caso se aplicará la siguiente fórmula:

$$T_{IM} = \frac{L_1}{2} + \frac{L_2}{2} + X_1 + X_2 \quad (V.52)$$

Si  $L_1 = L_2$  entonces:  $T_{IM} = L_1 + 2X_1$  (V.53)

La longitud mínima del arco circular =  $1/2 (L_1 + L_2)$

Para situaciones extremadamente críticas y en caminos clase IV o V, con bajas velocidades de diseño, y únicamente en casos puntuales se podrá optar por la solución de distribuir la longitud de transición 100 % dentro del arco de curva circular, en cuyo caso la longitud de la curva circular deberá ser igual o mayor al doble de la longitud de transición.

$$T_{IM} = X_1 + X_2 \quad (V.54)$$

$$\text{Si } L_1 = L_2 \quad T_{IM} = 2X_1 \quad (V.55)$$

En el caso de utilizar curvas de transición o espirales, la tangente intermedia es la distancia entre el ET de la curva inicial y el TE de la siguiente.

En este caso la tangente intermedia mínima se calcula con la fórmula (V.54). En condiciones críticas o cuando el trazado es curvilíneo y continuo, el valor de la tangente intermedia puede ser 0 (cero), o sea que la progresiva (abscisa) de ET1=TE2.

En el caso de utilizar curva consecutiva, circulares y espirales o viceversa: La tangente intermedia es la longitud entre el PT y TE; o entre ET y PC.

La tangente intermedia mínima se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_{IM} = \frac{2}{3}L + X_L + X_e \quad (V.56)$$

En donde:

$T_{IM}$  = Tangente intermedia mínima

$L$  = Longitud de transición

$X_L$  = Longitud tangencial en función de la longitud de transición

$X_e$  = Longitud tangencial en función de la curva de transición (espiral)