

# SOBREANCHOS EN LAS CURVAS DE CARRETERAS

POR MARIANO AISA DEA, INGENIERO DE CAMINOS

*Describe el autor un procedimiento muy práctico para replantear los sobreanchos y desvanecimientos que determinan las vigentes Instrucciones de construcción de carreteras, valiéndose de las tablas normales para curvas circulares, y estudia con detalle los errores que con tal norma práctica se cometen.*

En el artículo de la vigente Instrucción de Carreteras correspondiente a los sobreanchos que deberán adoptarse en los nuevos caminos que se construyan o en los actuales que se acondicionen, se determinan, después de un estudio completo del asunto, los valores de los sobreanchos correspondientes a cada radio de la curva y según la categoría del camino.

Respecto a los desvanecimientos de los citados sobreanchos, se establece en la Instrucción que la progresiva de la arista interior de la carretera será la envolvente de un segmento de recta de 22 metros para los caminos nacionales y 18 metros para los comarcales o locales, que se moverá desde la posición inicial coincidente con las alineaciones rectas a contar de los de tangencia a los sucesivos que se obtienen apoyándose en puntos de la arista interior separados a iguales distancias, estando uno de los extremos del segmento en la recta, y el otro en la curva, o los dos extremos en la curva cuando el primero abandone la recta.

La ecuación de la envolvente de las distintas posiciones de la cuerda es muy complicada, y en la citada Instrucción se dice que, en la práctica, el replanteo de la misma es muy sencillo; efectivamente, este replanteo es facilísimo de hacer replanteando previamente la arista interior de la explanación correspondiente al ancho normal y moviendo luego una cuerda de la longitud correspondiente (22 ó 18 metros) de la forma antes explicada; o sea, señalando sobre el terreno distintas posiciones de la cuerda, con lo que queda definida la envolvente en todos sus puntos.

Análogamente habría que proceder después de replanteada la arista exterior normal, a fin de definir la envolvente de las distintas posiciones de las cuerdas de 8,50 ó 7 metros que fija la Instrucción para evitar los espacios perdidos.

Todo ello, repetimos, es sencillísimo pero pesado; sobre todo, cuando se trata de carreteras de montaña, en las que la mayor parte de los radios exigen sobreanchos por ser inferiores a 200 metros; y además, ya vemos que para cada curva hay que replantear previamente las aristas exterior e interior correspondientes al ancho normal.

Creemos que en la práctica puede ser suficiente

el procedimiento aproximado que se detalla a continuación y con el cual pueden replantearse directamente las aristas de la zona de desvanecimientos, con la misma rapidez que se replantea una curva corriente y empleando únicamente cualquier tabla de abscisas y ordenadas de las usadas normalmente para replanteo de curvas circulares.

Consiste este procedimiento en suponer que son puntos de la envolvente los puntos medios de la cuerda en sus distintas posiciones; esto sólo es cierto cuando la cuerda apoya sus dos extremos en la curva, pero no lo es en las posiciones intermedias de la cuerda; ya veremos luego los errores que con esto se cometen. Asimismo sustituimos la cuerda por el desarrollo correspondiente a cada posición de la misma, es decir,  $MR = MN + \widehat{NR}$ . Designamos por  $C$  la longitud de la cuerda que prescribe la Instrucción (22 metros en Caminos Nacionales y 18 metros en Comarcales o Locales).

Tendremos:

$$\begin{aligned} MN + \widehat{NR} &= C, \\ MN + NP &= MN + x = \frac{1}{2} (MN + NQ) = \\ &= \frac{1}{2} (C - \widehat{NR} + NQ). \end{aligned}$$

Y como

$$\widehat{NR} = d, \quad NQ = x_1,$$

resulta:

$$C - d + x = \frac{1}{2} (C - d + x_1);$$

luego

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{x_1 + d - C}{2} \\ y &= \frac{y_1}{2} \end{aligned} \right\} \quad [1]$$

y

$$x_1 + d = 2\left(x + \frac{C}{2}\right) = 2x + C. \quad [2]$$

Las tablas usuales de abscisas y ordenadas de curvas circulares dan para cada radio los valores de  $x_1, y_1$ , correspondientes a cada valor de  $d$ . Vemos, pues, que el replanteo sobre el terreno del desvanecimiento del sobreancho interior por el procedimiento aproximado, es sencillísimo: para cada grupo de valores  $x_1, y_1, d$ , de las tablas de abscisas y ordenadas correspondientes al radio de la arista normal interior (sin sobreancho) de la carretera (o sea, radio del eje menos el semiancho de la misma), se obtiene en seguida, según [1], el valor de  $x$  y el correspondiente de  $y$  de un punto de la curva de desvanecimiento. Los valores de  $x$  deben tomarse sobre la arista de la explanación en la alineación recta o en su prolongación y a partir del punto de tangencia  $N$ ; valores positivos de  $x$  hacia la curva y negativos hacia la recta. Empezando por los menores valores de  $x_1, d_1, d$ , y continuando hasta los valores correspondientes a  $d = C$ , pueden irse replanteando sucesivamente los distintos puntos de la curva de desvanecimiento, y directamente, sin necesidad de replanteos previos de las aristas de la curva correspondiente al ancho normal.

Aplicando el procedimiento aproximado que se detalla, la longitud de desvanecimiento es menor, ya que éste termina a  $\frac{C}{2}$  de la tangente y no a la distancia  $C$ , que resulta para el procedimiento de la Instrucción.

Veamos los errores que se cometen al replantear por este procedimiento la zona de desvanecimiento de sobreanchos.

En una escala tal que se pudiesen apreciar medios milímetros, hemos dibujado, siguiendo el método de la Instrucción, las envolventes de las curvas para los radios-eje 41,75 metros, 60,00 metros y 99,50 metros, para ver así los errores máximos cometidos en caminos Locales, Comarcales y Nacionales, ya que dichos errores son máximos cuanto menor es el radio de la curva; hemos trabajado con radios-eje de 41,75 metros y 99,50 metros en lugar de 40,00 y 100,00 metros, porque no disponíamos de las plantillas de curvas correspondientes a los radios interiores de estos últimos.

Se han obtenido así los cuadros de errores que se detallan a continuación:

CAMINO LOCAL

SOBREANCHOS INTERIORES

RADIO EJE, 41,75 M. — RADIO INTERIOR, 38,75 M.

$d = 1,00$	$x_1 = 1,00$	$y_1 = 0,010$	$x = -8,000$	$y' = 0,005$	$y = 0,110$	$\epsilon = 0,105$
$d = 3,00$	$x_1 = 3,00$	$y_1 = 0,120$	$x = -6,000$	$y' = 0,060$	$y = 0,180$	$\epsilon = 0,120$
$d = 5,00$	$x_1 = 4,99$	$y_1 = 0,322$	$x = -4,000$	$y' = 0,161$	$y = 0,290$	$\epsilon = 0,129$
$d = 7,00$	$x_1 = 6,96$	$y_1 = 0,625$	$x = -2,020$	$y' = 0,312$	$y = 0,440$	$\epsilon = 0,128$
$d = 9,00$	$x_1 = 8,91$	$y_1 = 1,037$	$x = -0,040$	$y' = 0,518$	$y = 0,620$	$\epsilon = 0,102$
$d = 11,00$	$x_1 = 10,85$	$y_1 = 1,550$	$x = 1,925$	$y' = 0,775$	$y = 0,840$	$\epsilon = 0,065$
$d = 13,00$	$x_1 = 12,76$	$y_1 = 2,165$	$x = 3,88$	$y' = 1,082$	$y = 1,120$	$\epsilon = 0,038$
$d = 15,00$	$x_1 = 14,62$	$y_1 = 2,870$	$x = 5,81$	$y' = 1,435$	$y = 1,460$	$\epsilon = 0,025$
$d = 17,00$	$x_1 = 16,46$	$y_1 = 3,650$	$x = 7,73$	$y' = 1,825$	$y = 1,845$	$\epsilon = 0,020$
$d = 18,26$	$x_1 = 17,60$	$y_1 = 4,230$	$x = 8,93$	$y' = 2,115$	$y = 2,130$	$\epsilon = 0,015$

CAMINO COMARCAL

SOBREANCHOS INTERIORES

RADIO EJE, 60 M. — RADIO INTERIOR, 56,25 M.

$d = 1,00$	$x_1 = 1,00$	$y = 0,010$	$x = -8,000$	$y' = 0,005$	$y = 0,080$	$\epsilon = 0,075$
$d = 3,00$	$x_1 = 3,00$	$y = 0,080$	$x = -6,000$	$y' = 0,040$	$y = 0,135$	$\epsilon = 0,095$
$d = 5,00$	$x_1 = 4,99$	$y = 0,220$	$x = -4,000$	$y' = 0,110$	$y = 0,210$	$\epsilon = 0,100$
$d = 7,00$	$x_1 = 6,98$	$y = 0,440$	$x = -2,010$	$y' = 0,220$	$y = 0,310$	$\epsilon = 0,090$
$d = 9,00$	$x_1 = 8,97$	$y = 0,730$	$x = -0,010$	$y' = 0,365$	$y = 0,440$	$\epsilon = 0,075$
$d = 11,00$	$x_1 = 10,93$	$y = 1,090$	$x = -1,965$	$y' = 0,545$	$y = 0,600$	$\epsilon = 0,055$
$d = 13,00$	$x_1 = 12,88$	$y = 1,470$	$x = -3,940$	$y' = 0,735$	$y = 0,785$	$\epsilon = 0,050$
$d = 15,00$	$x_1 = 14,82$	$y = 2,000$	$x = 5,910$	$y' = 1,000$	$y = 1,000$	$\epsilon = 0,000$
$d = 18,00$	$x_1 = 17,68$	$y = 2,870$	$x = 8,840$	$y' = 1,435$	$y = 1,435$	$\epsilon = 0,000$

CAMINO NACIONAL

SOBREANCHOS INTERIORES

RADIO EJE, 99,50 M. — RADIO INTERIOR, 95,00 M.

$d = 1,00$	$x_1 = 1,00$	$y = 0,010$	$x = -10,000$	$y' = 0,005$	$y = 0,060$	$\epsilon = 0,055$
$d = 3,00$	$x_1 = 3,00$	$y = 0,040$	$x = -8,000$	$y' = 0,020$	$y = 0,080$	$\epsilon = 0,060$
$d = 5,00$	$x_1 = 5,00$	$y = 0,130$	$x = -6,000$	$y' = 0,065$	$y = 0,130$	$\epsilon = 0,065$
$d = 7,00$	$x_1 = 6,99$	$y = 0,250$	$x = -4,000$	$y' = 0,125$	$y = 0,210$	$\epsilon = 0,085$
$d = 9,00$	$x_1 = 8,99$	$y = 0,430$	$x = -2,000$	$y' = 0,215$	$y = 0,290$	$\epsilon = 0,075$
$d = 11,00$	$x_1 = 10,98$	$y = 0,620$	$x = 0,000$	$y' = 0,310$	$y = 0,370$	$\epsilon = 0,060$
$d = 13,00$	$x_1 = 12,96$	$y = 0,890$	$x = 2,000$	$y' = 0,445$	$y = 0,480$	$\epsilon = 0,035$
$d = 15,00$	$x_1 = 14,94$	$y = 1,180$	$x = 3,970$	$y' = 0,590$	$y = 0,610$	$\epsilon = 0,020$
$d = 17,00$	$x_1 = 16,91$	$y = 1,500$	$x = 5,950$	$y' = 0,750$	$y = 0,765$	$\epsilon = 0,015$
$d = 19,00$	$x_1 = 18,87$	$y = 1,900$	$x = 7,940$	$y' = 0,950$	$y = 0,950$	$\epsilon = 0,000$
$d = 21,00$	$x_1 = 20,83$	$y = 2,300$	$x = 9,920$	$y' = 1,150$	$y = 1,150$	$\epsilon = 0,000$
$d = 22,00$	$x_1 = 21,80$	$y = 2,540$	$x = 10,900$	$y' = 1,270$	$y = 1,270$	$\epsilon = 0,000$

En ellos,  $y'$  es el valor obtenido para cada  $x$ , aplicando el método aproximado, e  $y$  es la ordenada de la envolvente para la misma abscisa.

Se ve que los errores  $\epsilon$  son todos por defecto, y que son máximos para el radio mínimo de los caminos locales, para el cual  $y$  para  $x = -4,00$  metros el error llega a ser de 12,9 centímetros. Pero tengamos en cuenta que el ancho de afirmado de camino local está calculado para dos circulaciones y el sobreancho para las mismas dos circulaciones; de manera que estos 12,9 centímetros de error máximo vendrían a constituir, en todo caso, una ligera disminu-

chando uno de los vehículos a muy poca velocidad, y el sobreancho correspondiente lo calcula para dichas tres circulaciones; pero sinceramente creemos que porque la anchura total de una explanación de 9,00 metros se disminuya en 8,5 centímetros el sobreancho, igual podrá cruzarse por los tres vehículos, teniendo en cuenta la reducción de velocidad de uno de ellos.

Supongamos ahora que queremos obtener, a los efectos del Proyecto, el sobreancho correspondiente a un perfil determinado situado en la zona de desvanecimiento. Al proyectar, se replantea siempre el eje

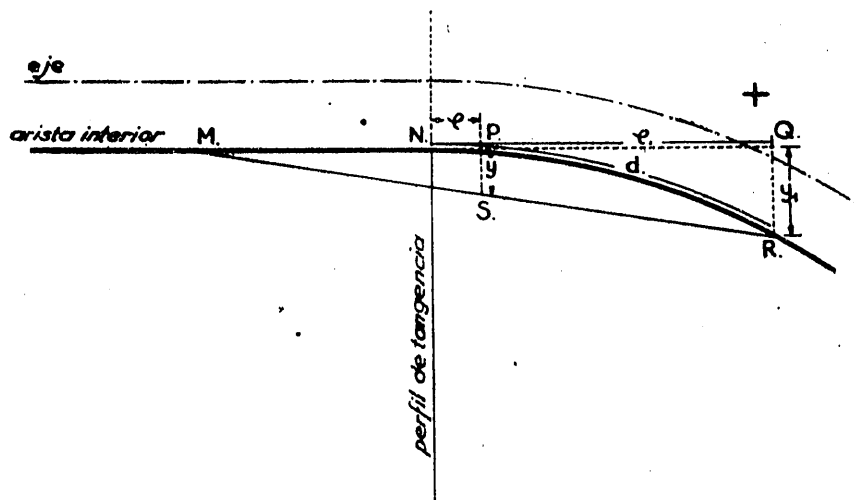


Figura i.

ción de los 100 centímetros destinados en total a paseos. En los caminos nacionales, el error máximo para el radio menor no pasa de 8,5 centímetros para la misma abscisa  $x = -4,00$  metros. En estos caminos la Instrucción admite que con el ancho total de la explanación puedan coexistir tres circulaciones, mar-

del camino, o sea que dicho perfil viene definido por su distancia a la tangente según el desarrollo; si ese punto está situado hacia el lado de la curva (o sea entre  $N$  y  $R$ ), lo primero que habrá que hacer será buscar en la tabla de abscisas y ordenadas del radio axial de que se trate, las  $x$  y correspondientes al des-

arrollo dado, y que llamaremos  $x'$   $y'$ ; el producto

$$x = x' \frac{R \text{ int.}}{R \text{ eje}}$$

nos dará el valor de  $x$ , correspondiente a la arista interior del mismo perfil; substituyendo este valor de  $x$  en [2], obtendremos  $x_1 + d$ , y buscamos en las tablas de abscisas y ordenadas correspondientes al radio interior (interpolando, si fuese preciso) la ordenada  $y_1$ , para la cual la suma  $x_1 + d$  es la obtenida, el valor del sobreancho correspondiente al perfil de que se trata será:

$$S = \frac{y_1}{2} - y'$$

de manera que el perfil transversal normal habrá que ampliarlo hacia el centro de la curva en esta longitud.

Desde luego, al hacer esto cometemos un nuevo error, ya que calculamos el valor del sobreancho paralelamente al perfil en el punto de tangencia, y luego ese valor lo tomamos según el plano del perfil en que trabajamos; es decir, calculamos  $PQ$  en lugar de  $PN$  (figura 1). Este nuevo error es nulo para los perfiles desde el punto de tangencia hacia la recta, y va aumentando desde cero a un valor máximo, a partir de dicho punto de tangencia hacia la curva. Este error para una misma cuerda es tanto más importante cuanto menor es el radio. Veamos qué diferencia hay en los perfiles en que este error es máximo, entre los valores del sobreancho obtenidos por nosotros y los que señala la Instrucción, haciendo esta comparación para los radios mínimos de caminos locales y nacionales:

Radio eje = 40 metros. Radio interior = 37 metros.

Cuerda = 18 metros.

En cualquier tabla de curvas encontramos que para

$$\frac{R}{C} = \frac{37}{18} = 2,05555 \quad \bullet \quad \frac{F}{C} = 0,0618,$$

luego

$$F = 18 \times 0,0618 = 1,1125 \text{ metros,}$$

o sea  $NP = 1,1125$  metros (valor de la Instrucción).

El ángulo en el centro,  $2 \alpha$ , vale:

$$2 \alpha = 28^\circ 10'$$

luego

$$\beta = 75^\circ 55';$$

$$MP = \sqrt{9^2 + 1,1125^2} = 9,068 \text{ metros,}$$

y

$$\text{tg } \gamma = \frac{NP}{MN} = \frac{1,1125}{9} = 0,12361 \quad \bullet \quad \gamma = 7^\circ 2' 48'';$$

$$\delta = \gamma = 7^\circ 2' 48'';$$

$$MS = x = MP \cos \delta = 8,9997 \text{ metros,}$$

y aplicando el procedimiento aproximado:

$$x_1 + d = 2 \cdot x \cdot C = 35,9994;$$

$$SQ = \frac{4,4625}{2} = 2,231 \text{ metros,}$$

y como  $SP$  tiene por valor obtenido de una tabla de curvas,  $SP = 1,11$ , tenemos:

$$PQ = 2,231 - 1,11 = 1,121 \text{ metros,}$$

luego, error cometido =  $1,121 - 1,1125 = 0,0085$  m., por exceso, o sea a favor de proyecto.

Radio eje = 100 metros. Radio interior = 95,50 metros.

Cuerda = 22,00 metros.

$$\frac{R}{C} = 4,3409; \quad \frac{F}{C} = 0,029;$$

$$F = 22 \times 0,029 = 0,638 \text{ metros,}$$

o sea:

$$MP = 0,638 \text{ metros (valor de la Instrucción).}$$

El ángulo  $2 \alpha$  vale:

$$2 \alpha = 13^\circ 16' 40'';$$

luego

$$\beta = 83^\circ 21' 40'';$$

$$OP = \sqrt{11^2 + 0,638^2} = 11,018 \text{ metros,}$$

y

$$\text{tg } \gamma = \frac{0,638}{11} = 0,058; \quad \gamma = 3^\circ 19' 6'';$$

$$\delta = \gamma = 3^\circ 19' 6''; \quad MS = x = OP \cos \delta = 10,9994,$$

y aplicando el procedimiento aproximado:

$$x_1 + d = 2 \cdot x \cdot C = 43,9988;$$

$$SQ = \frac{2,546}{2} = 1,273 \text{ metros,}$$

y como

$$SP = 0,63,$$

tenemos:

$$PQ = 1,273 - 0,63 = 0,643 \text{ metros};$$

luego, error cometido =  $0,643 - 0,638 = 0,006$  metros, también a favor de proyecto.

Vemos, pues, que este error último, que se comete al aplicar el procedimiento aproximado, a fin de ob-

Ni que decir tiene que si el perfil para el que queremos determinar el sobreebanco está comprendido entre  $M$  y  $N$  (fig. 2), la abscisa según el eje y la abscisa correspondiente a la arista interior del ancho normal son la misma, o sea que se entra ya directamente en [2] y se sigue igual que antes se ha detallado.

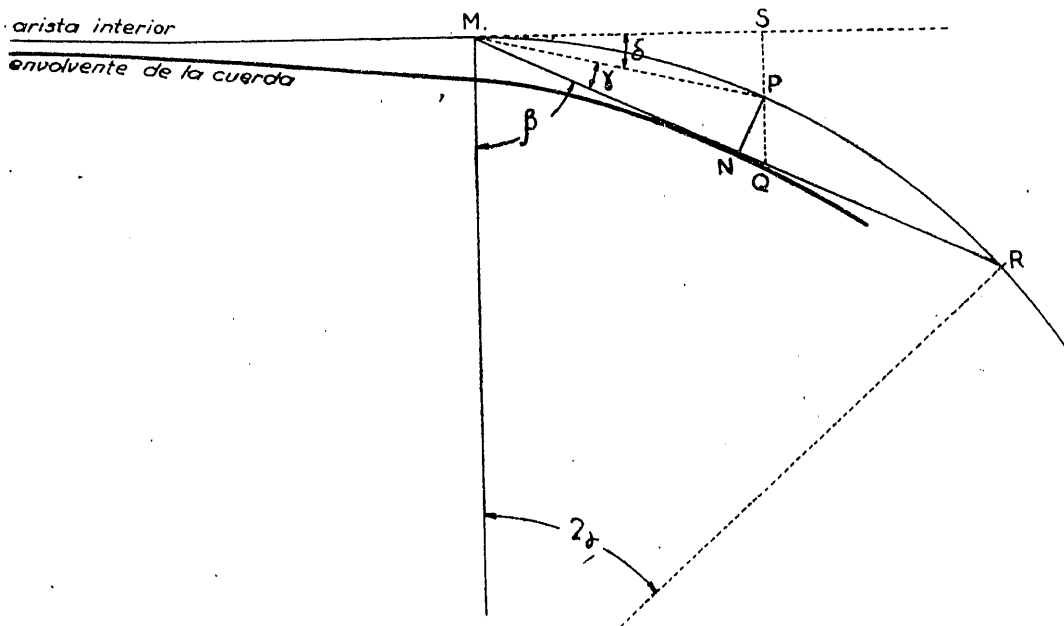


Figura 2.

tener en proyectos el sobreebanco correspondiente a un perfil determinado, nos compensa en parte para radios mínimos (en los cuales es máximo el error), el error por defecto de que hemos hablado anteriormente, llegando a una compensación perfecta en la parte de curva en la que empieza el desvanecimiento del sobreebanco.

Los desvanecimientos de las progresivas exteriores que cita la Instrucción, a fin de evitar los espacios perdidos, pueden replantearse siguiendo un procedimiento análogo, y como los errores serán del mismo sentido que los cometidos en los sobreebanco interiores, o sea hacia el mismo lado, resulta aún menor la disminución del ancho total de explanación.

