Gabriel NOROÑA

PAVIMENTACION DE CALLES [*]

Objeto.—Las calles, en especial las de ciudades importantes, deben ser construídas de manera que el tráfico en ellas sea fácil y cómodo. Tanto el ornato como la higiene prescriben, además, que la circulación de vehículos produzca el menor ruído posible y que se adopten las mejores precauciones para que se pueda conservarlas bien aseadas. Es evidente que ninguna de estas condiciones se puede realizar sin una pavimentación apropiada, esto es sin un revestimiento del suelo con piedra, madera, etc. que constituya una capa resistente, algo elástica, bien unida pero sin ser demasiado lisa.

Clases de pavimentos.—Hay calles empedradas, pavimentadas con piedra, asfaltadas, etc. Cada una de estas designaciones indica una clase de material y una construcción particular del pavimento.

Perfil transversal.—Sea L metros la longitud transversal o anchura de una calle; busquemos la forma más adecuada del perfil transversal. Desde luego, dicha forma no depende sólo de L sino también de la clase de pavimento que se adopte, de la gradiente y de la cantidad de aguas lluvias que han de circular por la calle hasta los desagües.

Como L suponemos longitud total, si L′ y l son la longitud de ambas aceras, la primera, y de la parte

[*] La técnica del presente estudio está basada en el curso que seguimos en París, en la Escuela de Trabajos Públicos.

intermedia que designaremos por calzada, la segunda, resulta

$$L = L' + l \quad \text{en metros.}$$

Observación.—La proporción $\frac{L'}{L}$ o $\frac{l}{L}$ es muy variable y depende tanto de la clase de tráfico que sea más intenso en una calle como de la situación de ésta en la ciudad. En las calles centrales de Quito, por ejemplo, nos parecen aceptables las relaciones siguientes:

Por L igual o mayor de 12 metros, $\frac{L'}{L} = \frac{1}{3}$

Por L menor de 12 metros, $\frac{L'}{L} = \frac{1}{4}$

He aquí los resultados que se obtendrían adoptando dichas relaciones:

L metros anchura total	l metros ancho de la calzada	L' metros ancho de ambas aceras	L'' metros ancho de una acera
14	9,33	4,67	2,33
13,50	9,00	4,50	2,25
13,00	9,67	4,33	2,16
12,50	8,33	4,17	2,08
12,00	8,00	4,00	2,00
11,50	8,62	2,87	1,44
11,00	8,25	2,75	1,37
10,50	7,87	2,62	1,31
10,00	7,50	2,50	1,25
9,50	7,12	2,37	1,19
9,00	6,75	2,25	1,12

Estas cifras no pueden servir sino como elemento de comparación para determinar, en cada caso, los valores de L' y l que mejor satisfagan al problema que presente el tráfico en una calle.

Calzada.—Consideremos l metros como longitud fija. La rápida evacuación de las aguas lluvias que es necesario obtener hace preferible un perfil curvilíneo, convexo hacia la superficie sobre la cual se verifica el tráfico, en vez de uno rectilíneo que sería más cómodo para el tránsito de vehículos. La curvatura parabólica es la que se viene adoptando generalmente.

Para determinar el arco de la parábola que ha de formar el perfil se distinguen dos casos:

1º Los dos puntos extremos del perfil se encuentran a un mismo nivel; se tiene una calzada simétrica.

2º Dichos puntos tienen diferente nivel; se dice entonces que la calzada no es simétrica.

En ambos casos, la misma calzada forma canales de desagüe entre el borde de las aceras y el primer metro de longitud transversal. Se fija, por consiguiente, en un punto de la calzada distante de un metro del borde de la acera la altura con relación al nivel del punto extremo; llamémosla h.

Primer caso.—La ecuación general de la parábola de eje $y' y$ y de tangente al vértice $x' x$ es:

$$x^2 = 2 \rho y$$

Llamando: f la flecha en el vértice,
f' la flecha correspondiente a un punto distante de un metro del borde de la acera,

se tiene que la parábola debe pasar por los puntos de coordenadas:

$$x = \frac{l}{2} \quad y \quad x = \frac{l}{2} - 1$$
$$y = f \qquad y = f' = f - h$$

De la primera condición resulta

$$\left(\frac{l}{2}\right)^2 = 2\, p\, f \qquad [1]$$

De la segunda,

$$\left(\frac{l}{2} - 1\right)^2 = 2\, p\, (f - h) \qquad [2]$$

Eliminando 2 p en [1] y [2] queda

$$\frac{l^2}{(l-2)^2} = \frac{f}{f-h}$$

Resolviendo esta ecuación con respecto a f se obtiene:

$$f = \frac{l^2}{l-1} \times \frac{h}{4}$$

El valor $\frac{h}{4}$ es constante para cada clase de pavimento y de gradiente; haremos

$$\frac{h}{4} = K$$

y tenemos:

$$f = \frac{l^2}{l-1} K \qquad [3]$$

Resulta de esta fórmula que la flecha es función de la anchura l de la calzada y de K.

En el caso de gradientes hasta del 4% y de valores de l hasta de 14 metros, K puede tomar los valores fijados por M. Allard, que son:

En pavimento de asfalto	h=0,048; por tanto	K=0,012
,, ,, ,, madera	h=0.060	K=0,015
,, ,, ,, piedra	h=0,060 hasta 0,072;	K=0,015 hasta 0,018
,, ,, empedrado	h=0,072	K=0,018

Las alturas h son en realidad un máximo que se debe disminuír según la naturaleza del subsuelo y siempre que la gradiente longitudinal sea más fuerte.

Perfil patrón.—Conociendo l, h y habiendo determinado f, mediante un nivel se puede situar prácticamente el eje $x' x$ tangente al vértice de la parábola y cuantos puntos se desée de la curva. Basta, en efecto, para cada valor de la abscisa x calcular la flecha f en la ecuación [3] y llevar esa flecha hacia abajo, a partir de $x' x$. Con esos datos se establecerá fácilmente, a distancias convenientes, secciones o perfiles patrones que sirvan para guiar a los obreros encargados de la pavimentación y obtener superficies parabólicas bien regulares.

Nota.—Para abreviar los cálculos, en cada trecho en el cual l es constante se utilizará el siguiente cuadro que proviene de la fórmula

$$x^2 = 2\,p\,\gamma$$

Como de [1] se deduce

$$2p = \frac{l^2}{4\,f}, \quad \text{de donde}$$

$$x^2 = \frac{l^2}{4\,f}\,\gamma \qquad [4]$$

la curva es simétrica con relación a $\gamma'\,\gamma$; basta por tanto considerar x desde el vértice, $x=0$, hasta el encuentro con el borde de la acera, $x = \frac{l}{2} = a$.

Sustituyamos l por 2 a en la fórmula [4]

$$x^2 = \frac{4\,a^2}{4\,f}\,\gamma = \frac{a^2}{f}\,\gamma$$

De aquí resulta

$$\gamma = f\left(\frac{x}{a}\right)^2 \qquad [5]$$

Por diferentes valores de x en función de a se tiene

x	0	1/5 a	2/5 a	3/5 a	4/5 a	a
γ	0	0,04 f	0,16 f	0,36 f	0,64 f	f

Segundo caso.—Cuando la calzada no es simétrica, el punto medio de la longitud transversal de ésta y el vértice de la parábola no coinciden como en el caso anterior; dicho vértice se encuentra más inmediato al extremo de nivel superior.

Llamaremos l_1 y l_2 las distancias desde el vértice de la parábola que se trata de determinar hasta cada uno de los bordes de las aceras. Entonces

$$l_1 + l_2 = l \qquad [1]$$

Además, como regla práctica se da en este caso la de que los perfiles correspondientes a l_1 y l_2 han de ser partes de los perfiles que exactamente corresponderían a una calzada simétrica de $2\,l_1$ y $2\,l_2$ de longitud transversal.

Las flechas f_1 y f_2 correspondientes a cada una de esas longitudes serían:

$$f_1 = \frac{(2\,l_1)^2}{2\,l_1 - 1}\,K \qquad [2]$$

$$f_2 = \frac{(2\,l_2)^2}{2\,l_2 - 1}\,K \qquad [3]$$

Llamando *d* el desnivel entre los puntos extremos, se tiene evidentemente

$$f_1 - f_2 = d \qquad [4]$$

Este sistema de cuatro ecuaciones permitiría determinar las incógnitas l_1, l_2, f_1 y f_2. Como el cálculo resulta complicado, es preferible ejecutarlo por ensayos sucesivos observando que

$$\frac{A^2}{A-1} = 1 + A + \frac{1}{A} + \frac{1}{A^2} + \dots\dots\dots\dots$$

Si este desarrollo limitamos al segundo término, tenemos la fórmula aproximada

$$\frac{A^2}{A-1} = 1 + A$$

Aproximadamente escribiremos, por tanto,

$$f_1 = (1 + 2\,l_1)\,K \qquad [2^1]$$
$$f_2 = (1 + 2\,l_2)\,K \qquad [3^1]$$

De donde, por diferencia

$$d = (l_1 - l_2)\,2\,K \qquad (5)$$

Pongamos $l_1 - l_2 = 2\,l'$ y tendremos

$$d = 4\ K\ l'$$

$$l' = \frac{d}{4\ K}\text{; pero } K = \frac{h}{4}\text{, por tanto}$$

$$l' = \frac{d}{h}\ \text{aproximadamente.}$$

l' es la distancia desde el vértice de la parábola hasta el punto correspondiente a $\frac{l}{2}$; por consiguiente

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= \frac{l}{2} + \frac{d}{h} \\ l_2 &= \frac{l}{2} - \frac{d}{h} \end{aligned}\right\}\ \text{aproximadamente.}$$

Después de calcular por estas fórmulas l_1 y l_2 se deducen los valores de f_1 y f_2; se verifica así $f_1 - f_2 = d$ y se modifica, según el error que se encuentre, los valores de l_1 y de l_2 hasta obtener dicha verificación.

Ejemplo—Determinar l_1, l_2, f_1 y f_2 en el caso en que $l = 9^m$, $d = 0.^m 15$ y $h = 0{,}06$.

Tenemos:

$$l_1 = \frac{l}{2} + \frac{d}{h} = \frac{9}{2} + \frac{0.15}{0{,}06} = 4.50 + 2{,}50 = 7{,}00$$

$$l_2 = \frac{l}{2} - \frac{d}{h} = \frac{9}{2} - \frac{0.15}{0{,}06} = 4{,}50 - 2{,}50 = 2{,}00$$

$$(2) \qquad f_1 = \frac{(2\ l_1)^2}{2\ l_1 - 1}\ k = \frac{4 \times 49}{13} \times 0{,}015 = 0{,}226$$

$$(3) \qquad f = \frac{(2\ l_2)^2}{2 l_2 - 1}\ k = \frac{4 \times 4}{3} \times 0{,}015 = 0{,}080$$

Verificación. $f_1 - f_2 = 0{,}226 - 0{,}080 = 0{,}146$

Como el valor que se debía obtener es 0,15 se ve que el error es:

$$0,146 - 0,150 = -0,004$$

Si se quiere calcular con mayor exactitud, se nota que siendo el error negativo, l_1 debe ser mayor del primer valor aproximado y l_2 menor.

Como $\frac{0,004}{h} = \frac{0,004}{0,06} = 0,067$ por exceso,

haremos:

$$l_1 = 7 + 0,067 = 7,067$$
$$l_2 = 2 - 0,067 = 1,933$$

Entonces,

$$f_1 = \frac{14,134^2}{13,134} \times 0,015 = 0,228$$

$$f_2 = \frac{3,866^2}{2,866} \times 0,015 = 0,078$$

Verificando nuevamente estos resultados encontramos

$$f_1 - f_2 = 0,228 - 0,078 = 0,15$$

Por tanto los últimos valores de l_1, l_2, f_1 y f_2 son exactos. La flecha correspondiente a diferentes puntos del perfil se determinará, tanto en la parte relativa a l_1 como en la que corresponde a l_2 de la misma manera que en el primer caso.

(Continuará).

Gabriel NOROÑA.