

12.1. Introducción .

Las funciones volumen-retraso se utilizan para modelar el flujo que circula por cada reamo de la red viaria . Para aproximarse a la realidad es necesario conseguir que las funciones representen lo más fielmente posible el comportamiento de las vías .

La función de coste expresa la variación del tiempo empleado en recorrer el arco con el volumen que lo atraviesa. Para su construcción es necesario conocer los datos siguientes:

- El tiempo de flujo libre t_0 , que es el tiempo empleado en recorrer el arco cuando el flujo es nulo. Las unidades se refieren a minutos .
- La capacidad del arco c , es decir, el flujo de vehículos que duplica el tiempo libre. De nuevo notar que es distinto al flujo de saturación del arco, que es el máximo número de vehículos que pueden recorrerlo.
- El parámetro a , que define la forma de la curva.

Se muestran, a continuación, las funciones volumen-retraso que se van a utilizar en la ciudad de Sevilla . Para ello se parte de la clasificación mostrada en el cuadro de la página siguiente Fig.12.1. en la que se clasifica el viario dividiendo las calles en 30 tipos diferentes .

Grafico 12.1.Clasificación del viario

12.2. Cálculo de las funciones volumen-retraso .

Para calcular dichos valores, se parte de anteriores estudios. Se dispone de una clasificación del viario que divide las calles en 30 tipos diferentes. Es el cuadro 12.1 de la página anterior . De estos estudios se conocía una recta Volumen-Velocidad , que era utilizada como función de coste. Esta recta mostraba el hecho del aumento del tiempo de viaje con el flujo del arco, y se muestra en la figura 12.2 , en la que:

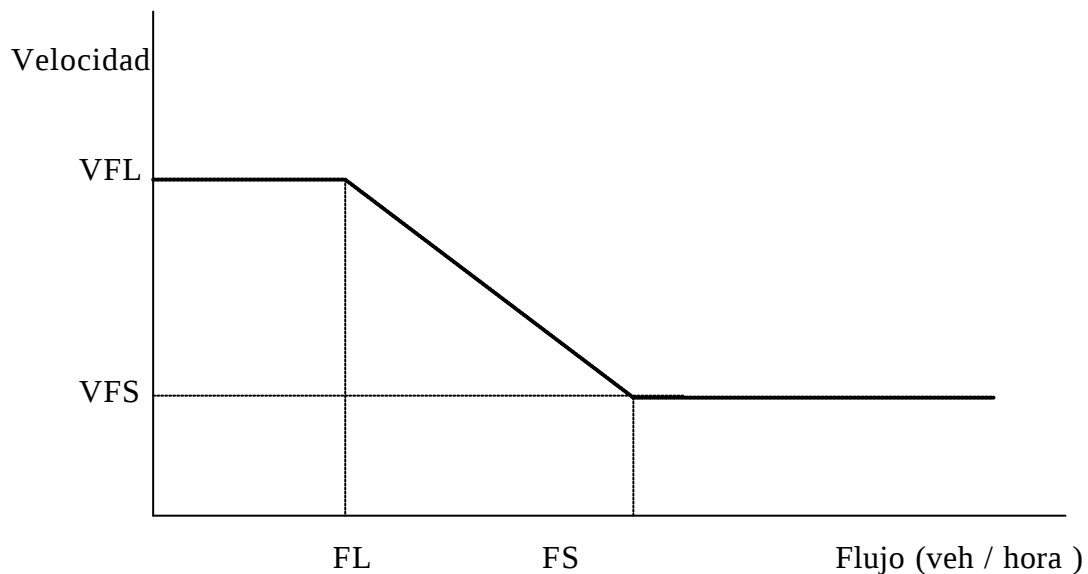


Fig. 12.2. Recta volumen-retraso .

FL: Flujo libre (a partir del cual se percibe el efecto de la congestión).

VFL: Velocidad de flujo libre.

FS: Flujo de saturación.

VFS: Velocidad de saturación.

Nótese que en este tipo de función, la velocidad no puede disminuir por debajo de la de saturación. Si ello ocurriera, en el algoritmo de asignación aparecerían problemas de convergencia. En efecto, como se vio en el capítulo correspondiente, si la velocidad es muy pequeña, los tiempos resultan muy grandes, con lo que se tiene el

mismo problema que presentaban las curvas BPR. Una vez hecha dicha apreciación ,se verá el modo de calcular cada parámetro :

- t_0 : Para flujo cero, se toma la velocidad de flujo libre VFL. Entonces, el tiempo de flujo libre es :

$$t_0 = \frac{\text{longitud}}{VFL}$$

- Capacidad del arco. De la recta volumen-velocidad, se calcula el flujo que hace que la velocidad de flujo libre disminuya a la mitad.
- a : Se calcula utilizando el punto de saturación (FS,VFS). Para ello, se resuelve la función particularizada en el punto a . Entonces :

$$t_{SAT} = \frac{\text{longitud}}{v_{SAT}} = \frac{\text{longitud}}{VFL} f(x)$$

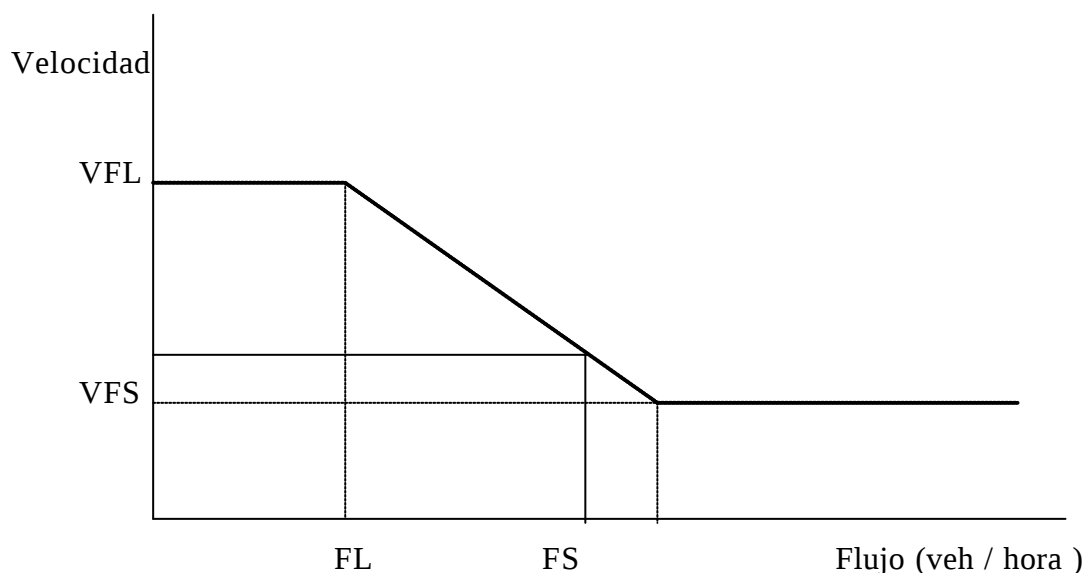


Fig.12.3. Cálculo de la capacidad .

Sustituyendo las expresiones resulta:

$$\frac{1}{VFS} = \frac{1}{VFL} \left[2 + \sqrt{a^2 \left(1 - \frac{V_{SAT}}{C} \right)^2 + \frac{2a-1}{2a-2}} - a \left(1 - \frac{V_{SAT}}{C} \right) - \frac{2a-1}{2a-2} \right]$$

Los resultados que se obtienen haciendo esto para los 30 tipos de funciones de coste lineales son los siguientes, mostrados en la tabla 12.4.

F L: FS: VFL/VFS	450 225	800 400	1200 600	1800 1080	2500 1500	3300 1980	4500 2700
30/5 C: a : t ₀ :	(1) 360 9.672 0.5	(2) 640 9.672 0.667	(3) 960 9.672 0.5				
40/6.7 C: a : t ₀ :	(4) 360 9.672 0.667	(5) 640 9.672 0.667	(6) 960 9.672 0.667	(7) 1512 12.62 0.667			
50/8.3 C: a : t ₀ :	(8) 360 9.672 0.833	(9) 640 9.672 0.833	(10) 960 9.672 0.833	(11) 1512 12.62 0.833	(12) 2100 12.62 0.833	(13) 2775 12.62 0.833	
60/10 C: a : t ₀ :		(14) 640 9.672 0.833	(15) 960 9.672 1	(16) 1512 12.62 1	(17) 2100 12.62 1	(18) 2775 12.62 1	(19) 3780 12.62 1
75/12.5 C: a : t ₀ :		(20) 640 9.672 1.25	(21) 960 9.672 1.25	(22) 1512 12.62 1.25	(23) 2100 12.62 1.25	(24) 2775 12.62 1.25	(25) 3780 12.62 1.25
90/30 C: a : t ₀ :			(26) 1050 5.347 1.5	(27) 1620 6.842 1.5	(28) 2225 6.842 1.5	(29) 2970 6.842 1.5	(30) 4050 6.842 1.5

Tabla 12.4.. Parámetros de las funciones volumen-retraso.

12.3. Enumeración de las funciones .

Cada función volumen-retraso es identificada por las letras fd seguidas de un número que denota el tipo de función. Así, fd1 constituye la primera de las funciones de coste construidas.

Las funciones empleadas para modelar la red viaria son :

$$fd1 = (\text{length} / .5) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (360 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (360 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd2 = (\text{length} / .5) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd3 = (\text{length} / .5) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd4 = (\text{length} / .66666) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (360 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (360 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd5 = (\text{length} / .66666) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd6 = (\text{length} / .66666) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (320 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd7 = (\text{length} / .66666) * (2 + (\text{sqrt}(159.3 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (504 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.08)) - (12.6214 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (504 * \text{lanes})))) - 1.043024) + .2$$

$$fd8 = (\text{length} / .83333) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (360 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (360 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

$$fd9 = (\text{length} / .83333) * (2 + (\text{sqrt}(93.565 * ((1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (640 * \text{lanes})))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((\text{volau} + \text{volad}) / (640 * \text{lanes})))) - 1.05765) + .2$$

```
fd10=(length / .833) * (2 + (sqrt(93.565 * ((1 - ((volau + volad) /
(480 * lanes)))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((volau + volad)
/(480 * lanes)))) - 1.05765) + .2
```

```
fd11=(length / .833) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) /
(756 * lanes)))) ^ 2) + 1.08)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad) /
(756 * lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd12=(length / .83333) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad)
/(700 * lanes)))) ^ 2) + 1.08)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad)/(700
* lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd13=(length / .83333) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad)
/(925 * lanes)))) ^ 2) + 1.08)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad)/(925
* lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd14=(length / 1) * (2 + (sqrt(93.565 * ((1 - ((volau + volad) / (640
* lanes)))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((volau + volad) / (640
* lanes)))) - 1.05765) + .2
```

```
fd15=(length / 1) * (2 + (sqrt(93.565 * ((1 - ((volau + volad) / (480
* lanes)))) ^ 2) + 1.118625)) - (9.672904 * (1 - ((volau + volad) /
(480 * lanes)))) - 1.05765) + .2
```

```
fd16=(length / 1) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) / (756 *
lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad) / (756 *
lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd17=(length / 1) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) / (700 *
lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad) / (700 *
lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd18=(length / 1) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) / (925 *
lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad) / (925 *
lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd19=(length / 1) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) / (1260
* lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad) / (1260 *
lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd20=(length / 1.25) * (2 + (sqrt(93.565 * ((1 - ((volau + volad) /
(640 * lanes)))) ^ 2) + 1.1186)) - (9.672904 * (1 - ((volau + volad)
/(640 * lanes)))) - 1.05765) + .2
```

```
fd21=(length / 1.25) * (2 + (sqrt(93.565 * ((1 - ((volau + volad) /
(480 * lanes)))) ^ 2) + 1.1186)) - (9.672904 * (1 - ((volau + volad)
/(480 * lanes)))) - 1.05765) + .2
```

```
fd22=(length / 1.25) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) /
(756 * lanes)))) ^ 2) + 1.08)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad) / (756
* lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd23=(length / 1.25) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) /
(1050 * lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad)
/(1050 * lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd24=(length / 1.25) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) /
(1385 * lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad)
/(1385 * lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd25=(length / 1.25) * (2 + (sqrt(159.3 * ((1 - ((volau + volad) /
(1260 * lanes)))) ^ 2) + 1.0879)) - (12.6214 * (1 - ((volau + volad)
/(1260 * lanes)))) - 1.043024) + .2
```

```
fd26=(length / 1.5) * (2 + (sqrt(28.593 * ((1 - ((volau + volad) /
(1050 * lanes)))) ^ 2) + 1.2432)) - (5.3473 * (1 - ((volau + volad)
/(1050 * lanes)))) - 1.115) + .2
```

```
fd27=(length / 1.5) * (2 + (sqrt(46.817 * ((1 - ((volau + volad) /
(810 * lanes)))) ^ 2) + 1.1785)) - (6.8423 * (1 - ((volau + volad) /
(810 * lanes)))) - 1.085) + .2
```

```
fd28=(length / 1.5) * (2 + (sqrt(46.817 * ((1 - ((volau + volad) /
(1112.5 * lanes)))) ^ 2) + 1.1785)) - (6.8423 * (1 - ((volau + volad)
/(1112.5 * lanes)))) - 1.085) + .2
```

```
fd29=(length / 1.5) * (2 + (sqrt(46.817 * ((1 - ((volau + volad) /
(1480 * lanes)))) ^ 2) + 1.1785)) - (6.8423 * (1 - ((volau + volad)
/(1480 * lanes)))) - 1.085) + .2
```

```
fd30=(length / 1.5) * (2 + (sqrt(46.817 * ((1 - ((volau + volad) /
(1350 * lanes)))) ^ 2) + 1.1785)) - (6.8423 * (1 - ((volau + volad)
/(1350 * lanes)))) - 1.085) + .2
```

```
fd50=length
```

Hay que indicar que la función fd50 cuyo valor es length (longitud) es la función utilizada para los arcos que son conectores .

En las funciones volumen-retraso aparecen las siguientes variables:

- volau: Volumen de vehículos sobre el arco (en las fórmulas anteriores representado por v).
- volad: Volumen adicional de vehículos que se considere en la asignación. - lanes: Número de carriles. En este caso, el tipo de función lleva implícita esta característica, que fue usada a la hora de la elección del tipo de función volumen-retraso de cada arco.
- lanes : Número de carriles .
- lenght: Longitud del arco.

12.4. Clasificación .

En la red viaria , a cada tramo hay que asignarle una función volumen-retraso . Hasta ahora se han calculado cada función para cada uno de los 30 distintos tipos de calles del cuadro de la Fig.12.1. En este cuadro se ordenan atendiendo a dos parámetros :

- Velocidad en flujo libre (km / h) / velocidad en capacidad (km / h)
- Capacidad horaria (veh / h) / Intensidad horaria máxima funcionando en flujo libre (veh / h)

Y a su vez , en cada función , se especifica con que tipo de vía , área y número de carriles se debe utilizar .

Se puede observar que :

- Las funciones numeradas con números más pequeños son aquellas que en flujo libre tienen menor velocidad , es decir , se utilizan para modelar tramos en los que se circula muy lentamente , mientras que en la de números más grandes se circula más rápidamente .
- Para una misma velocidad en flujo libre , si la capacidad horaria aumenta , el número de la función volumen-retraso es también mayor .

Para introducir las funciones en nuestra red viaria se va a modificar la presentación de la información de este cuadro .

Se pretende ordenar las funciones mediante tres parámetros , que son :

- Tipo de área .
- Tipo de vía .
- Número de carriles .

Para ello se ha introducido toda la información del cuadro en un fichero en formato Excel . A partir de él se ha ordenado en función del tipo de área y se ha separado en cinco tablas correspondientes a los cinco tipos de área .

Posteriormente para cada área , se clasifican las funciones según el número de carriles y el tipo de área . Véase Fig.12.5.a y 12.5.b .

GRAFICA 12.5.a Funciones V-R área,carril y vía

GRAFICA 12.5.b Funciones V-R área ,carril y vía

Hay que indicar que de las cinco áreas (centro , ensanche , periferia , suburbana , y rural) , en el presente proyecto la zona de estudio está delimitada exteriormente por la SE-30 y dentro de ese anillo se encuentran los tipos de área : centro , ensanche y periferia .

Es por ello por lo que a continuación se presentan las tres tablas (una por cada área) que van a ser empleadas . En ellas se han clasificado las funciones , esta vez , según el tipo de vía y luego según el número de carriles . Véase Fig. 12.6 .

Las franjas coloreadas ayudan únicamente a una mejor visualización .

GRAFICA 12.6.

Con esta presentación se puede observar que :

- A medida que la vía es más importante , el número de la función volumen-retraso es mayor , aumentando o como mínimo manteniéndose , si se aumenta el número de carriles .
- En el zona del centro las velocidades son menores y las funciones también , en la zona de ensanche algo mayores , y en la periferia aún más .

12.5.Distribución en la ciudad de Sevilla .

Utilizando la clasificación de las funciones volumen-retraso del apartado anterior se introducen en el programa Tramos , en cada tramo de calle de la red viaria el número de la función que modela su comportamiento .

Para ello una vez conocido el número de carriles de cada tramo es necesario conocer a que tipo de vía pertenece y a que área , para así asignarle su correspondiente función volumen-retraso .

Con tal fin se expone , a continuación , como se ha clasificado la zona de estudio en función de estos dos parámetros :

- Tipo de vía .
- Tipo de área .

Tipo de vía

Se ha seguido la clasificación existente en el PIOV (Plan Integral de Ordenación Vial) en la que jerarquiza las vías en cinco clases diferentes , que son las mismas que aparecen en el capítulo anterior , apartado 11.3 Tipificación del viario .

La clasificación es la siguiente :

1. Autovía : Ronda de circunvalación SE-30 .
2. Arterias principales .Estará formado por las dos rondas principales y los ejes de acceso desde el exterior :
 - Ronda del Tamarguillo
 - Ronda María Auxiliadora - Los Remedios.
 - Calle Torneo - Paseo de Colón.
 - Avenida de Kansas City.
 - Luis Montoto - Avenida de Andalucía.
 - Avenida de La Paz.
 - Avenida de La Palmera.
 - Calle Torneo - Paseo de Colón.
 - Avenida del Cristo de la Expiración.
3. Arterias secundarias . Lo constituyen ejes como :
 - San Juan de Ribera - Doctor Fedriani.
 - Avenida de Pino Montano.
 - Avenida de Llanes - Ronda de Pío XII - Doctor Leal Castaño.
 - Carretera de Carmona.
 - Avenida Montes Sierra.
 - Eduardo Dato - Marqués de Pickman - Federico Mayo Gayarre - Carlos Marx - Amor.

- Héroes de Toledo - Ramón y Cajal - San Fernando - República Argentina.
- Manuel Siurot - Avenida de la Borbolla - Juan Antonio Cavestany.
- Menéndez Pelayo - Avenida de María Luisa - Virgen de Luján.
- Ronda Intermedia de Triana - López de Gomara.
- Avenida de La Raza.

4. Vías colectoras .

5. Vías locales .

Tipo de área

Se ha dividido la zona de estudio en tres áreas :

1. Centro :

Con este tipo de área se ha considerado a dos zonas :

- El centro histórico delimitado por la Ronda de Capuchinos , calle San Fernando , Torneo y Resolana .
- La zona formada por los barrios de Los Remedios y Santa Cecilia , zona delimitada por arriba por el río Guadalquivir , a la derecha por la Avenida de Carranza , por debajo por López de Gomara y a la izquierda por San Jacinto . Esta zona se ha considerado centro debido a que el tipo de calle se asemeja más al centro histórico que a la zona de ensanche o la de periferia .

2. Ensanche :

Esta zona está delimitada exteriormente por la Ronda del Tamarguillo , e interiormente por las vías que delimitan el área tipo centro .

3. Periferia :

Con este tipo de área se han considerado a dos zonas :

- La zona delimitada exteriormente por la SE-30 e interiormente por la Ronda del Tamarguillo .
- La zona de la Expo 92 , por tener sus vías características similares a las anteriores , carriles más anchos y se circula a mayor velocidad .