

- 5. COSTOS D'UN SISTEMA BRT -

Per a poder crear una bona eina d'ajuda a la presa de decisions (que és un dels objectius d'aquesta tesina) cal que cada un dels termes de la funció que es vol optimitzar estiguin ben estimats i calculats. En aquest cas el que volem optimitzar és la funció dels costos totals del sistema, així que primerament s'han de trobar les fórmules que s'empraran en cada apartat.

$$f(x) = C_{TOT} = C_u + C_o \quad (5.1)$$

C_{TOT}: Costos totals del sistema.

C_u: Costos per als usuaris del sistema.

C_o: Costos per a l'operador del sistema.

Per a poder definir de forma desglossada aquesta funció cal que es desglossi cada terme en els seus components així com trobar les seves fórmules matemàtiques, això és el que es disposa a fer a continuació. Per a les següents explicacions s'ha partit de la formulació de Byrne (1972, 1975), així com també les consideracions de Van Ness referents al temps d'accés i d'espera en parades.

5.1 Cost pels Usuaris (C_u)

Els costos dels usuaris els podem desglossar en diferents components, és a dir, aquest cost total està format pel cost que provoca el temps que necessita l'usuari per accedir a la parada d'inici (C_a), el cost derivat del temps d'espera en les parades (l'inicial i les intermèdies en el cas que s'hagi de realitzar un transbord), que estarà representat amb la variable C_{ep}, el cost relacionat amb el temps que dura el trajecte realitzat (C_t) i per últim, el temps necessari per desplaçar-se de la parada final fins al destí de la persona també provoca un cost (C_d). A continuació s'explica com s'han calculat cada un d'aquests factors.

$$C_u = C_a + C_{ep} + C_t + C_d \quad (5.2)$$

C_a: Cost d'accés a la xarxa.

C_{ep}: Costos d'espera en parades.

C_t: Costos de trajecte.

C_d: Costos d'arribada al destí.

5.1.1 Cost d'Accés (C_a)

Per a poder avaluar el cost d'accés promig d'un usuari primerament s'ha de calcular el temps d'accés promig que tarda aquest usuari a arribar a la parada d'inici del trajecte. En tots els estudis que existeixen sobre aquest tema es considera que en aquest tram l'usuari es desplaça a peu.

S'han realitzat molts estudis per a conèixer quina és la distància màxima que s'ha de considerar en aquest càlcul, ja que un vianant només accedeix a caminar fins a la parada de transport públic més propera si el temps que trigarà per arribar no és superior a un valor llindar.

Van Ness va proposar calcular el temps d'accés (t_a) com el quocient entre la distància d'accés promig i la velocitat mitjana d'un vianant (normalment acceptada en 4 km/h). D'aquesta manera, per a calcular la distància promig considerarem que la zona d'influència d'una parada correspon a un rectangle delimitat en un eix pels punts mitjos entre parades, i en l'altre per un semieix de 300 metres (un valor proposat en diversos estudis i treballs). La figura 31 representa un esquema indicatiu d'aquesta zona d'influència.

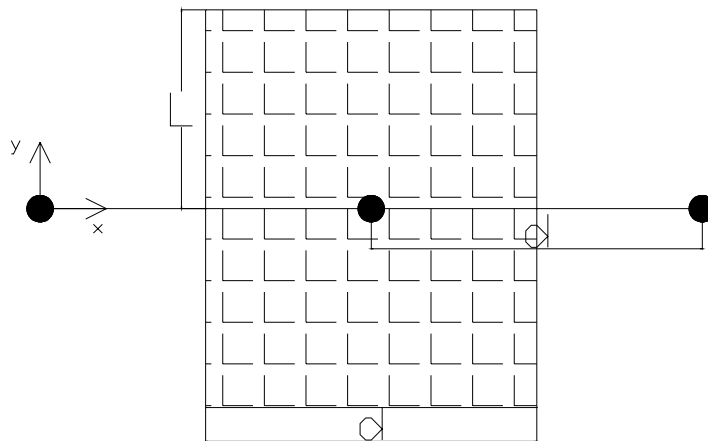


Fig.31 Zona d'influència d'una parada qualsevol. (Peyronnel, 2005).

d : distància entre parades (en BRT al voltant dels 500 metres).

L : longitud que defineix l'amplada de la zona d'influència. 300 metres.

En aquesta aproximació es suposarà que ens trobem en una zona urbana d'illes rectangulars, a l'estil de l'Eixample de Barcelona, sent aquest el cas més restrictiu perquè els vianants només es poden desplaçar en el sentit dels dos eixos (x , y) i no en línia recta fins a la parada com es faria en una mètrica euclídea. A més, també es considerarà la zona urbana com una zona de densitat uniforme d'usuaris de transport públic, és a dir, els passatgers que accedeixen a aquesta parada estan uniformement repartits per tota la zona d'influència.

Així doncs, aplicant aquestes premisses, només queda realitzar l'integral necessària per a trobar la distància d'accés mitjana (d_a) en funció de la distància entre parades del nostre sistema.

$$\begin{aligned}
 d_a(m) &= \int_{-300}^{300} \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} \frac{(|x|+|y|)}{600d} \cdot dx \cdot dy = \frac{4}{600d} \int_0^{300} \int_0^{\frac{d}{2}} (x+y) \cdot dx \cdot dy = \\
 &= \frac{4}{600d} \int_0^{300} \left[\frac{x^2}{2} + xy \right]_0^{\frac{d}{2}} \cdot dy = \frac{4}{600d} \int_0^{300} \left[\frac{d^2}{8} + \frac{d}{2} y \right] \cdot dy = \\
 &= \frac{4}{600d} \left[\frac{d^2}{8} y + \frac{d}{2} \frac{y^2}{2} \right]_0^{300} = \frac{4}{600d} \left[\frac{300d^2}{8} + \frac{300^2 \cdot d}{4} \right] = \\
 &= \frac{d}{4} + 150 \tag{5.3}
 \end{aligned}$$

d_a : distància promig d'accés en metres.

d : distància entre parades en metres.

FONT: Peyronnel (2005).

Un cop trobada aquesta longitud ja sols queda calcular el temps real que es tarda en recórrer-la a peu, posteriorment calcular el temps percebut per l'usuari i per últim calcular el cost monetari d'aquest temps.

Per a calcular el temps real (t_{ra}) només cal aplicar la fórmula de cinemàtica del moviment uniforme, considerant que la velocitat del vianant és de 4 km/h.

$$t_{ra} = \frac{d_a(m)}{4(km/h)} \cdot \frac{1(km)}{1000(m)} = \frac{1}{4000} \left(150 + \frac{d}{4} \right) \tag{5.4}$$

Aplicant els factors de ponderació del temps proposats per Van Ness podem calcular el temps percebut per l'usuari. En aquest cas aquest factor és de 1,1. I per tant el temps percebut (t_a) el trobem de la següent manera.

$$t_a = 1,1 \cdot t_{ra} = \frac{1,1}{4000} \left(150 + \frac{d}{4} \right) \tag{5.5}$$

En tots aquest casos, que estan relacionats amb els usuaris, el cost que es calcula està relacionat de forma directament proporcional al temps gastat percebut per aquests. En tots els casos la forma de passar del temps al cost és mitjançant el producte amb el valor del temps, per aquesta raó en tots els apartats és calcularà el temps i serà al final de tot on es calcularà el cost total dels usuaris.

$$C_i = VdT \cdot D \cdot t_i \tag{5.6}$$

C_i : Cost del component i .

VdT : Valor del Temps.

D : Demanda diària.

t_i : Temps gastat en el component i .

5.1.2 Cost d'Espera en Parades (C_{ep})

El temps d'espera en parades (t_{rep}) es considera com el temps promig que transcorre entre que un usuari qualsevol arriba a la parada fins que puja al vehicle de transport públic. Com es considera que l'arribada de passatgers a una parada qualsevol és una variable uniforme, es pot arribar a la conclusió que aquest temps promig real (l'esperança de la variable espera) correspon a la meitat de l'interval de pas entre dos vehicles (h).

$$t_{rep} = \frac{h}{2} \quad (5.7)$$

I, aplicant el model de Von Ness, amb un factor de majoració del temps d'espera de 1,5 (com és de suposar, més gran que el d'accés, degut a la forta sensació de perdre el temps quan s'espera que arribi el transport públic). El temps d'espera percebut pels usuaris (t_{ep}) correspon a la següent fórmula.

$$t_{ep} = 1,5 \cdot t_{rep} = \frac{3}{4} h \quad (5.8)$$

5.1.3 Cost del Trajecte (C_t)

El temps de trajecte es defineix com el temps que transcorre mentre l'usuari està a l'interior del vehicle. Es calcula a partir de la distància de recorregut (d_r) característica del corredor que s'està estudiant i la velocitat comercial de l'autobús.

$$t_{rt} = \frac{d_r}{v_c} \quad (5.9)$$

No obstant, la velocitat comercial de l'autobús no és una dada coneguda de bon principi, sinó que és el propi model el que la calcula a posteriori. Per aquesta raó no es pot utilitzar aquesta fórmula i s'haurà de descompondre el temps de trajecte en altres temps que es puguin estimar de forma més senzilla.

$$t_{rt} = t_v + t_{ii} + t_{ip} \quad (5.10)$$

Amb aquesta proposta es pretén dividir el temps de trajecte (t_{rt}) en tres parts, el temps de viatge (t_v) que és el que transcorre mentre el vehicle està en moviment, el temps total en parades (t_{ip}) que és el que gasta el vehicle amb operacions de pujada i baixada de passatgers, i per últim, el temps total en interseccions (t_{ii}) que és tot aquell temps en que l'autobús ha de romandre aturat degut a les interseccions que es troba mentre efectua el servei.

5.1.3.1 Distància de Recorregut (d_r)

Abans de calcular cadascun dels temps enunciats s'ha d'explicar el que s'entén per distància de recorregut i el seu posterior càlcul aproximat. La distància mitjana de recorregut és aquella distància promig que recorre un

usuari amb el transport públic, i per tant s'obté amb el quocient entre la suma de totes les longituds recorregudes per cada usuari en un temps determinat i el nombre de viatges realitzats per tots aquests usuaris.

Com aquesta és una fórmula que no es pot aplicar, ja que l'objectiu d'aquest DSS és treballar sobre línies de futura implantació i per tant, normalment no és un valor conegut, s'haurà d'aplicar alguna aproximació per obtenir un valor determinat.

Per a tenir un ordre de magnitud d'aquest paràmetre, es pot suposar que la demanda és uniforme en tot el corredor i a més, la probabilitat de baixar en cada parada és la mateixa. Aquesta suposició seria correcte en una xarxa urbana totalment uniforme pel que fa a l'atracció de viatges. Si s'apliquen aquestes aproximacions, es pot obtenir que la distància mitjana de recorregut correspon a un terç de la distància total de la línia.

Aquest és un valor de referència, però s'ha de tenir en compte que normalment, quan s'implanta un sistema BRT és degut a que existeixen dos nuclis ben marcats que són l'origen i el destí de la majoria de viatges, com per exemple podrien ser un barri residencial i el centre de la ciutat. Degut això, la meua opinió és que aquesta distància s'ha de suposar sensiblement superior al terç de la longitud del corredor.

Així doncs, la decisió que s'ha pres a l'hora de crear el DSS és de considerar la distància mitjana de recorregut com el 45% de la longitud total del corredor. No obstant, el model permet introduir aquest valor en el cas que sigui conegut, com per exemple a partir d'enquestes o en el cas que la línia de BRT que es vol implantar substitueixi una línia d'autobusos ja existent i per tant es tinguin dades d'aquest recorregut.

5.1.3.2 Temps de Viatge (t_v)

Per a calcular el temps de viatge (t_v) es farà a partir del quocient entre la distància promig recorreguda i la velocitat a la que circula el vehicle per la via o velocitat del transport (v_t).

$$t_v = \frac{d_r}{v_t} \quad (5.11)$$

La velocitat del vehicle en la via és un paràmetre que depèn del tipus del carril per el que circula l'autobús, així doncs, un autobús que circula per una via on es permet la presència de vehicles privats tindrà una velocitat menor que l'autobús que circula per un carril bus pintat i aquest al mateix temps avançarà a una velocitat menor a la d'un bus que circula per un carril totalment segregat de la resta de vehicles.

5.1.3.3 Temps en Interseccions (t_{ti})

Cada cop que un autobús s'atura en una intersecció és temps que està perdent, per a calcular aquest temps només cal que coneixem el nombre

d'interseccions que poden produir demora al llarg del corredor d'estudi i el temps que està aturat en cada intersecció.

Per tant, aquelles interseccions on el vehicle de transport públic té prioritats no s'han de considerar. En el cas que un grup de semàfors treballin sincronitzats per garantir l'ona verda, no s'han de considerar tots sinó només un, ja que en el cas que l'autobús s'aturi en un d'aquest semàfors en teoria no s'haurà d'aturar en cap més d'aquest grup. No obstant, cada cop que hi hagi una parada s'ha de considerar com un nou bloc de semàfors d'ona verda ja que encara que estiguis circulant en ona verda, en el moment que realitzés la parada en l'estació, al tornar a posar en moviment el vehicle pot ser que l'ona verda ja hagi passat i per tant el bus s'hagi d'aturar a la següent intersecció.

La forma de calcular el temps promig que perd un vehicle en cada intersecció és considerant que el moment en què l'autobús arriba a la intersecció és una variable aleatòria uniforme. Per tant, el temps promig que perd un vehicle en cada intersecció considerada es calcula a partir dels coneixements de probabilitat.

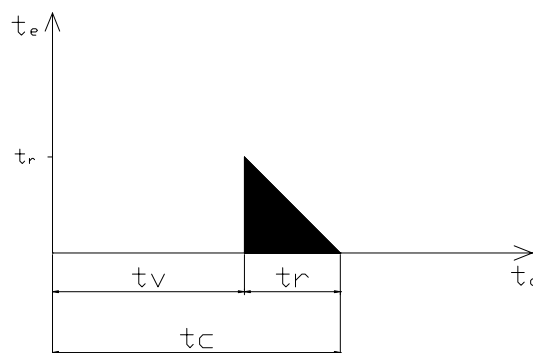


Fig.32 Temps d'espera d'un bus en funció del moment d'arribada a la intersecció.

t_e : temps d'espera en la intersecció.

t_a : moment en el temps en el que el vehicle arriba a la intersecció.

t_v : temps que dura la fase en verd del semàfor.

t_r : temps que dura la fase en roig del semàfor.

t_c : temps de ciclo del semàfor.

$$t_i = \frac{1}{t_c} \cdot \frac{t_r^2}{2} \quad (5.12)$$

Un cop tenim l'espera mitjana d'un autobús en una intersecció qualsevol (t_i), ja només cal calcular el temps de demora total produït per totes les interseccions de la línia que es troben al llarg de la distància de recorregut.

$$t_{ii} = t_i \cdot \frac{n_i}{l} \cdot d_r \quad (5.13)$$

t_{ii} : temps total perdut en interseccions en un trajecte igual a la distància de recorregut.

n_i : nombre d'interseccions que poden produir demora que hi ha en tota la línia.

l : longitud total de la línia.

Aquelles línies d'autobusos que disposin de sistemes de prioritats semafòrica, el temps que perden en les interseccions és nul ja que quan el vehicle s'aproxima a la intersecció, emet una senyal que provoca un canvi de posició del semàfor, permetent així el pas del transport públic sense necessitat de cap aturada o disminució de velocitat.

5.1.3.4 Temps en Parades (t_{tp})

Un dels motius principals pels que la velocitat dels autobusos no és tan alta com es voldria és sens dubte el temps que necessiten per efectuar totes les operacions de càrrega i descàrrega de passatgers. Aquest procés està compost de les següents accions: obrir portes, baixar i pujar passatgers i tancar.

El temps que necessita un autobús per a obrir i tancar les portes és una característica intrínseca del vehicle i per tant varia segons el model que s'esculli. Tot i així, diversos estudis estimen que un valor aproximat són 4 segons (2 segons per obrir, i el mateix valor per tancar les portes).

Pel que fa al temps de pujada i baixada dels passatgers, en un autobús urbà es solen considerar 3,2 segons per passatger per a pujar i 2,2 segons per a baixar, en el cas del tramvia de Barcelona es consideren 2,5 segons per a pujar i 1,6 per a baixar, ja que el vehicle és de pis baix i les validacions dels bitllets es poden efectuar a l'interior del vehicle.

Els autobusos dels sistemes BRT són una mescla entre aquests dos tipus de vehicles. Es tracta d'un autobús urbà però té el pis baix (o en el seu defecte a la mateixa altura de l'andana de l'estació). Per aquesta raó s'ha considerat en aquest treball com a 3 segons de temps de pujada per persona i 2 de baixada, és a dir, valor mitjos entre els anteriorment esmentats.

Finalment, la forma de calcular el temps perdut en cada parada és diferent en funció del tipus de parada que es consideri, convencional o estació de tipus metro. En el primer cas, al temps necessari d'obrir i tancar portes se li ha d'afegir el màxim valor entre el temps que necessiten els usuaris de la parada per a entrar al bus (operació que es fa mitjançant una sola porta) i el que necessiten els passatgers que volen baixar en aquesta parada per a sortir (mitjançant les portes restants), equació 5.12.

Quan la línia BRT disposa d'estacions tipus metro, com ara les estacions tubulars de Curitiba, el càlcul és diferent i ja no es necessita el valor màxim entre entrades i sortides sinó que es calcula el temps total emprat en les baixades del vehicle i se l'hi afegeix el temps necessari per les pujades. Aquestes dos accions s'efectuen mitjançant totes les portes disponibles de l'autobús, a l'estil de les parades de metro on primerament surten els passatgers i posteriorment es disposen a entrar els que s'estaven esperant a l'estació, equació 5.13.

$$t_p = t_{ot} + \max\left(t_e \cdot p_e, \frac{t_s \cdot P_s}{p_b - 1}\right) \quad (5.14)$$

$$t_p = t_{ot} + \frac{t_s \cdot P_s}{p_b} + \frac{t_e \cdot P_e}{p_b} \quad (5.15)$$

t_p : temps que es necessita en una parada per efectuar les operacions d'embarcament i desembarcament de passatgers.

t_{ot} : temps necessari per l'autobús per obrir i tancar les portes.

t_e : temps que necessita un passatger per a entrar al vehicle.

t_s : temps que necessita un passatger per a sortir del vehicle.

p_e : nombre de passatgers que es disposen a entrar a l'autobús.

P_s : nombre de passatgers que es disposen a sortir.

p_b : nombre de portes de que disposa el bus.

$$t_{ip} = t_p \cdot \frac{n_p}{l} \cdot d_r + \frac{2 \cdot t_{fl}}{l} \cdot d_r \quad (5.16)$$

t_{ip} : temps total perdut en parades en un trajecte igual a la distància de recorregut.

n_p : nombre de parades que hi ha en tota la línia.

t_{fl} : temps de descans del vehicle a final de línia.

Un cop ja s'han trobat les fórmules per aplicar a cadascun dels termes de l'operació, ja només queda sumar-los entre sí per conèixer la equació final del temps de trajecte. En aquest cas, el coeficient de ponderació del temps correspon a la unitat, valor aconsellat en diferents estudis. Finalment, per trobar el cost diari només caldrà multiplicar el temps de trajecte per la demanda diària i el valor del temps.

$$t_{rt} = t_v + t_{ii} + t_{ip} = \frac{d_r}{v_b} + t_i \cdot \frac{n_i}{l} \cdot d_r + t_p \cdot \frac{n_p}{l} \cdot d_r + \frac{t_{fl}}{l} \cdot d_r \quad (5.17)$$

$$t_i = t_{rt} \quad (5.18)$$

5.1.4 Cost de Destí (C_d)

Segons molts estudis, tal i com és de preveure, el temps promig d'accés al destí (t_d) equival al temps promig d'accés. O sigui, la distància mitjana que es desplaça un usuari de transport públic des de la parada final fins al seu destí desitjat és la mateixa que la distància mitjana que camina un usuari des de la seva ubicació inicial fins a la parada més propera. Aquesta suposició es pot entendre fàcilment si es considera que la zona d'influència d'una parada pel que fa a atracció de viatgers és la mateixa que la zona de possibles destins que avarca, o el que és el mateix, considerar homogeni el territori.

$$t_d = t_a = \frac{1,1}{4000} \cdot \left(150 + \frac{d}{4}\right) \quad (5.19)$$

Un cop ja coneixem la forma de calcular cada un dels temps que componen el temps total emprat pels usuaris ja només queda calcular el cost

total que correspon a aquest temps, per a fer-ho, només cal multiplicar el temps total pel valor del temps i per la demanda en un espai de temps determinat (dia o hora).

$$t_u = t_a + t_{ep} + t_i + t_d \quad (5.20)$$

$$\begin{aligned} t_u &= \frac{1,1}{4000} \left(150 + \frac{d}{4} \right) + \frac{3}{4} h + \left(\frac{d_r}{v_b} + t_i \cdot \frac{n_i}{l} \cdot d_r + t_p \cdot \frac{n_p}{l} \cdot d_r + \frac{t_{fl}}{l} \cdot d_r \right) + \frac{1,1}{4000} \left(150 + \frac{d}{4} \right) = \\ &= \frac{2,2}{4000} \left(150 + \frac{d}{4} \right) + \frac{3}{4} h + \left(\frac{d_r}{v_b} + t_i \cdot \frac{n_i}{l} \cdot d_r + t_p \cdot \frac{n_p}{l} \cdot d_r + \frac{t_{fl}}{l} \cdot d_r \right) \end{aligned} \quad (5.21)$$

$$C_u = VdT \cdot D \cdot t_u \quad (5.22)$$

5.2 Cost per l'Operador (C_o)

Per a que el DSS consideri tot el conjunt del sistema i no només els costos que tenen els usuaris, també s'han de calcular els costos que li corresponen a l'Operador de la Xarxa, o sigui, s'ha de tenir en compte la inversió inicial que necessita la implantació de la línia així com els costos de manteniment d'aquesta.

En el model aquests costos s'han separat en diferents apartats per a poder treballar de forma més còmode. Aquests apartats corresponen als costos que produeix la via, els autobusos, les parades, i en cas de que en tinguin, la prioritats semafòrica i el sistema d'informació.

5.2.1 Cost de la Via (C_v)

Com s'ha explicat en apartats anteriors, en els sistemes BRT, normalment, la via té una importància notable. La majoria de ciutats decideixen invertir una part molt important del pressupost en la construcció de vies exclusives pels autobusos. Aquesta despesa és molt variable depenent de l'ordre de magnitud de l'obra que es vol realitzar, és a dir, no té el mateix cost econòmic utilitzar un carrer ja existent i fer-lo d'ús exclusiu per a autobusos, que condicionar un carril d'una gran avinguda per a segregat-lo del trànsit normal o construir tot el vial de la línia amb passarel·les i túnels per a vianants per als usuaris inclosos.

Per aquesta raó, el que s'ha decidit fer en el model és proposar un valor de referència però amb la possibilitat que la persona que utilitzi el model pugui introduir el cost per km que coneix, en el cas que sigui així.

La forma d'introduir aquest valor en el model és amb la unitat de €/km de via, en aquest valor ja han d'estar incloses totes les despeses relacionades, com podrien ser les passarel·les per a vianants o altres obres d'accés.

$$C_v = \frac{c_{tv}}{l \cdot v_u} \quad (5.23)$$

c_{tv} : cost total de construcció de la via amb totes les obres d'accés relacionades.

v_u : vida útil del sistema.

5.2.2 Cost dels Autobusos (C_b)

Com és normal en un transport públic, una part important del costos estan relacionats amb els vehicles que s'utilitzen per a donar el servei. D'aquesta manera, no sols s'ha de considerar el cost d'adquisició dels autobusos que es necessiten, sinó que els autobusos tenen uns altres costos relacionats amb el manteniment del vehicle, com el pagament de l'assegurança, el consum de carburant i les despeses que provoca el conductor de l'autobús, entre d'altres.

$$C_b = \left(\frac{c_b}{v_{ub}} + c_{mb} \right) \cdot n_b \quad (5.24)$$

c_b : cost d'adquisició d'un autobús.

v_{ub} : vida útil del vehicle.

c_{mb} : cost anual de manteniment del vehicle.

n_b : nombre d'autobusos necessaris.

El càlcul del cost anual de manteniment és bastant llarg i complex, ja que inclou molts factors a tenir en compte. Aquest costos poden ser de tipus estàtic, és a dir, el simple fet d'adquirir un autobús provoca unes despeses sense que el vehicle hagi recorregut cap distància; relacionats amb el moviment de l'autobús o amb el personal que s'encarrega de conduir-los.

5.2.2.1 Costos Estàtics

Dintre dels costos estàtics es consideren els produïts pels pagaments de les assegurances i els impostos relacionats amb el vehicle (entre els que es troben l'impost de circulació, l'Impost sobre les Activitats Econòmiques (IAE), les revisions de sistemes de seguretat i d'altres taxes obligatòries pels vehicles). Aquests dos factors es poden calcular a partir dels costos mitjos per vehicle com es pot observar en la fórmula 5.23.

$$c_{bE} = (c_a + c_{imp}) \quad (5.25)$$

c_{bE} : cost anual estàtic per autobús (€/bus).

c_a : cost anual de les assegurances per autobús (€/bus).

c_{imp} : cost anual dels impostos per vehicle (€/bus).

5.2.2.2 Costos Mòbils

Aquests costos s'anomenen així perquè depenen de la quantitat de quilòmetres que ha recorregut el vehicle en un interval de temps. Dintre d'aquests costos es poden trobar els deguts al consum de combustible i lubricant, i al cost del canvi de pneumàtics quan sigui necessari. Cadascun

d'aquests factors té un càlcul de costos de forma independent, a continuació s'explica el procediment seguit en cada un d'ells.

5.2.2.2.1 Combustible

Per a poder aplicar la fórmula de càlcul dels costos produïts pel consum de combustible, és necessari conèixer el factor de consum promig del vehicle (f_c), un cop conegut aquest valor, només cal multiplicar-lo per la quantitat de km que fa de promig un autobús i per últim el preu de combustible per litre. Un cop fet això ja es coneixerà el cost unitari degut al consum de combustible d'un vehicle.

$$c_c = f_c \cdot L_{anual} \cdot p_c \quad (5.26)$$

c_c : cost unitari del combustible (€/bus).

L_{anual} : longitud anual recorreguda per un autobús (km).

p_c : preu del combustible (€/l).

5.2.2.2.2 Lubricant

Segons les indicacions que dóna el MOPU (1990) per avaluar el consum de lubricant, aquest es mesura en funció d'un percentatge del consum de combustible. El manual assigna un valor de 0,8% als autobusos. Aquests valors van ser obtinguts en assaigs experimentals d'un vehicle circulant a velocitat constant. Així doncs, l'equació 5.25 ens permet obtenir el cost de lubricant a partir del cost de combustible i els preus de cada un d'ells.

$$c_L = \frac{0.8}{100} \cdot c_c \cdot \frac{p_l}{p_c} \quad (5.27)$$

c_L : cost unitari del lubricant (€/bus).

p : preu del lubricant (€/l).

5.2.2.2.3 Pneumàtics

El valor de la despesa anual en material de rodatge es calcula a partir de la vida útil dels pneumàtics, aproximadament uns 100.000 quilòmetres, dades proporcionades per la FECAV (2000), i depenen del seu cost. Així doncs, la fórmula que s'emprarà per al càlcul del cost dels pneumàtics és la que es presenta a continuació.

$$c_{pn} = \frac{L_{anual}}{v_{pn}} \cdot n_{pn} \cdot p_{pn} \quad (5.28)$$

c_{pn} : cost unitari degut al canvi de pneumàtics (€/bus).

L_{anual} : longitud anual recorreguda per un autobús (km).

v_{pn} : vida útil dels pneumàtics (km), 100.000 km.

n_{pn} : nombre de pneumàtics que tenen els autobusos utilitzats.

p_c : preu del combustible (€/l).

Per tant, el cost total per autobús relacionat amb el moviment del vehicle serà la suma d'aquests tres factors.

$$c_{mov} = c_C + c_L + c_{pn} \quad (5.29)$$

$$c_{mov} = f_c \cdot L_{anual} \cdot p_C + \frac{0.8}{100} \cdot c_C \cdot \frac{p_l}{p_c} + \frac{L_{anual}}{v_{pn}} \cdot n_{pn} \cdot p_{pn} \quad (5.30)$$

5.2.2.3 Costos de Personal

El personal a que fa referència aquest títol correspon únicament als conductors dels autobusos de les línies. Pel que fa a tots els altres costos de personal, no es tenen en compte perquè són uns costos constants en cada un dels casos ja que no depenen del nombre dels autobusos. Per a poder calcular aquests costos només es necessita el salari dels conductors i el nombre de conductors que operen per vehicle. Aquesta és una dada difícil de conèixer i es calcularà en un altre apartat a partir del ratio entre conductors i vehicles d'empreses ja existents.

$$c_{per} = s_{cond} \cdot \frac{n_{cond}}{veh} \quad (5.31)$$

c_{per} : cost unitari degut a les despeses de personal (€).

s_{cond} : salari anual d'un conductor (€).

$\frac{n_{cond}}{bus}$: nombre de conductors necessaris per bus.

Així doncs ja tenim definides totes les formes de calcular cada un dels motius que provoca un cost de manteniment. D'aquesta manera, el cost de manteniment d'un bus es calcularà com la suma de tots els components.

$$c_{mb} = c_{b_E} + c_{mov} + c_{per} \quad (5.32)$$

$$c_{mb} = (c_a + c_{imp}) + \left(f_c \cdot L_{anual} \cdot p_C + \frac{0.8}{100} \cdot c_C \cdot \frac{p_l}{p_c} + \frac{L_{anual}}{v_{pn}} \cdot n_{pn} \cdot p_{pn} \right) + \left(s_{cond} \cdot \frac{n_{cond}}{veh} \right) \quad (5.33)$$

5.2.3 Cost de les Parades (C_p)

Les parades poden arribar a ser un factor d'alt cost depenent del tipus de BRT que es vulgui implantar. Els casos de Curitiba i Bogotà són un bon exemple de sistemes on hi ha hagut una forta despesa en les parades, ja que es tracten de veritables estacions de metro en superfície.

No obstant, també es poden implantar línies BRT sense necessitat de comptar amb unes estacions tan complertes. Sense anar més lluny, el Trambaix (Barcelona), que és un sistema de transport de grau superior al Bus Rapid Transit, disposa d'unes parades de tipus ferroviari a l'aire lliure.

En tot cas, la forma de calcular el cost relacionat amb la construcció de les parades es calcula de la mateixa manera sense tenir en compte el tipus de parada amb que es vol dotar al corredor. Només és necessari conèixer el pressupost de construcció de la parada.

$$C_p = \frac{c_p}{v_u} \cdot n_p \quad (5.34)$$

c_p : cost total de construcció d'una parada.

5.2.4 Cost del Sistema de Prioritat Semafòrica (C_{ps})

En moltes xarxes BRT s'ha decidit implantar un sistema de prioritats semafòrica pels autobusos, per a poder aconseguir així unes majors velocitats comercials. En cas que sigui així, el cost relacionat amb la implantació d'aquesta tecnologia està provocat per dos factors, per un costat els vehicles que necessiten la instal·lació dels aparells necessaris i per l'altre els semàfors de les interseccions que es creuen amb el corredor, per a que puguin rebre la senyal i efectuar les ordres de forma correcta.

Així doncs, si es coneixen tots aquests costos la fórmula per a trobar el cost total degut a la prioritats semafòrica es calcula de la següent manera: s'ha de multiplicar el cost en cada autobús pel nombre d'autobusos i sumar-lo al cost de cada intersecció pel nombre d'interseccions, un cop fet això només cal dividir-ho tot per la vida útil del sistema.

$$C_{ps} = \frac{c_{psb} \cdot n_b + c_{psi} \cdot n_i}{v_u} \quad (5.35)$$

c_{psb} : cost d'implantació el sistema de prioritats semafòrica en un autobús.

c_{psi} : cost d'implantació el sistema de prioritats semafòrica en una intersecció.

5.2.5 Cost del Sistema d'Informació (C_{inf})

De la mateixa manera que es pot implantar un sistema de prioritats semafòrica, també és possible fer el mateix amb un sistema de control o d'informació. En aquest cas, la inversió va a parar a les parades (per a poder rebre la informació d'arribada dels autobusos), els propis vehicles (que han de poder emetre la senyal d'ubicació) i per últim, la creació d'un sistema de Control Central que rebi tota la informació i sigui capaç de prendre decisions.

El procediment que permet calcular aquest cost és molt semblant al anteriorment explicat en el sistema de prioritats amb l'única varietat d'afegir el cost del Control Central. Així doncs, la fórmula utilitzada es correspon amb l'equació 5.34.

$$C_{inf} = \frac{c_{inf b} \cdot n_b + c_{inf p} \cdot n_p + c_{scc}}{v_u} \quad (5.36)$$

$c_{inf b}$: cost d'implantació el sistema d'informació en un autobús.

$c_{inf p}$: cost d'implantació el sistema d'informació en una parada.

c_{scc} : cost d'implantació el sistema de control central.