

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Tecnologies Industrials

**Títol:** Estudi i optimització d'una cruïlla semafòrica a Girona aplicant la teoria de Grafs

**Document:** Memòria i Annexos

**Alumne:** Alexandre Marco Valls

**Tutor:** Remei Calm Puig i Pepus Daunis i Estadella

**Departament:** Informàtica, matemàtica aplicada i estadística

**Àrea:** Matemàtica aplicada/Estadística

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2017

## ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	3
<b>1.1. Antecedents</b> .....	3
<b>1.2. Objecte</b> .....	3
<b>1.3. Abast</b> .....	4
<b>2. TEORIA DEL FLUX VEHICULAR</b> .....	6
<b>2.1. Introducció</b> .....	6
<b>2.2. Aforament del flux en hora punta</b> .....	6
<b>2.3. Estudi estadístic del flux</b> .....	10
<b>2.4. Càlculs dels fluxos equivalents</b> .....	11
<b>2.4.1. Càlcul del factor de l'hora de màxima demanda (FHMD)</b> .....	11
<b>2.4.2. Càlcul del factor de vehicles pesants (<math>f_{VP}</math>)</b> .....	11
<b>2.4.3. Càlcul del flux de vehicles equivalents (<math>q_{ADE}</math>)</b> .....	14
<b>3. TRÀNSIT EN VIES URBANES (INTERSECCIONS AMB SEMÀFORS)</b> .....	16
<b>3.1. Introducció</b> .....	16
<b>3.2. Conceptes bàsics</b> .....	16
<b>3.3. Tipus d'interseccions amb semàfors</b> .....	16
<b>3.3.1. Interseccions amb semàfor segons el número de fases</b> .....	16
<b>3.3.2. Interseccions amb semàfor segons el servei</b> .....	18
<b>3.4. Tipus de semàfors</b> .....	18
<b>3.4.1. Introducció</b> .....	18
<b>3.4.2. Semàfors de temps fix</b> .....	20
<b>3.4.3. Semàfors accionats per el trànsit</b> .....	20
<b>3.4.4. Semàfors amb control centralitzat mitjançant una sala de control</b> .....	20
<b>3.5. Càlculs de temps del semàfor</b> .....	20
<b>3.5.1. Càlcul de l'interval de canvi de fase</b> .....	20
<b>3.5.2. Temps perdut total</b> .....	22
<b>3.5.3. Flux de saturació</b> .....	22
<b>3.5.4. Relacions de flux</b> .....	29
<b>3.5.5. Càlcul del cicle</b> .....	30
<b>3.5.6. Temps verd efectiu total (<math>g_T</math>)</b> .....	30
<b>3.5.7. Repartiment del temps dels verds efectius (<math>g_i</math>)</b> .....	31
<b>3.5.8. Temps mínim per al pas de vianants (<math>G_p</math>)</b> .....	31
<b>3.6. Comparativa entre l'actualitat i els càlculs teòrics</b> .....	32
<b>4. TEORIA DE GRAFS</b> .....	34

4.1. Introducció.....	34
4.2. Concepte teòric.....	34
4.3. Problema del clic.....	35
4.3.1. Problema del conjunt de cobertura .....	36
4.3.2. Càlcul de fase verda a partir dels pesos dels clics .....	38
4.4. El Graf en la intersecció a estudiar.....	39
5. ESTUDI DE LA INTERSECCIÓ AMB SEMÀFORS.....	41
5.1. Situació actual.....	41
5.2. Càlcul de les fases verdes aplicant les fórmules.....	42
5.3. Càlcul del temps verds aplicant el graf en l'actualitat .....	42
5.4. Alternativa Graf1 amb grups de carrils per a les 4 zones de la via .....	43
5.4.1. Alternativa Graf1.1 .....	45
5.4.2. Alternativa Graf1.2 .....	47
5.4.3. Alternativa Graf1.3 .....	49
5.5. Alternativa Graf2 amb fluxos totalment independents.....	50
5.5.1. Alternativa Graf2.1 .....	54
5.5.2. Alternativa Graf2.2 .....	56
5.6. Comparativa de les alternatives .....	58
6. RESUM DEL PRESSUPOST .....	60
7. CONCLUSIONS.....	61
8. TREBALL FUTUR .....	62
9. BIBLIOGRAFIA .....	63
ANNEXOS .....	65
A. CÀLCULS I ALTERNATIVES.....	65
A.1. Recopilació i estudi de l'aforament.....	65
A.2. Càlcul del flux equivalent.....	69
A.3. CÀLCUL DELS TEMPS DELS SEMÀFORS .....	71
B. PRESSUPOST .....	75

## 1. INTRODUCCIÓ

En aquest capítol introductori es presenta el tema d'estudi del projecte amb els seus objectius i abast.

### 1.1. Antecedents

En l'actualitat, a totes les ciutats on hi ha un trànsit diari de vehicles es requereix una programació i modelització de cruïlles semafòriques per tal de garantir una bona circulació entre vehicles i vianants. El que s'intenta és aconseguir una fluïdesa entre tots els usuaris prou satisfactòria per arribar a la destinació pertinent de la forma més ràpida, senzilla i segura possible.

Cada any el percentatge de la població i el nombre de visites a Girona augmenta i això genera un flux d'usuaris més elevat dins de la ciutat i aquests es regeixen per uns horaris i unes rutines a causa de les jornades laborals i escolars. Aquests moviments es poden intentar predir fins a una certa mesura i regular el trànsit per facilitar la circulació entre vehicles i vianants i evitar així, pèrdues de temps i conseqüentment, mal estar i estrès a tots els usuaris de la via.

Cada cop més, s'afegeixen eines de control del trànsit. On abans en una intersecció no hi havia cap senyalització i prevalia la preferència teòrica, s'ha anat afegint senyals de trànsit per facilitar la circulació. A altres cruïlles s'hi ha anat afegint o modificant els semàfors per poder regular de forma més eficient els temps de circulació.

Ara ja no només els semàfors estan controlats per una centraleta, sinó que alguns incorporen sensors de presència, que en algunes interseccions poden ser molt bon recurs. Per exemple, una via de dos carrils, en un d'ells es pot realitzar un gir a l'esquerra però entra en conflicte amb els vehicles del mateix carrer però que van en sentit contrari, aquests cotxes que giren a l'esquerra tenen un flux reduït i per tant, no cal que entri en el cicle semafòric habitual i només s'activa si el sensor detecta cotxes que tenen la intenció de girar.

També hi ha altres sensors que el que fan es comptar el número de vehicles que passen per aquell carrer, aquests són importants per tenir una recopilació de dades i poder-les estudiar i realitzar alguna modificació en el sistema actual si fos necessari.

### 1.2. Objecte

L'objectiu inicial d'aquest projecte era estudiar la regulació del trànsit de Girona en una intersecció principal i les seves adjacents en els períodes de màxim conflicte –hores punta-. La seva finalitat doncs, era avaluar l'actual regulació i, si era possible, optimitzar-la. Les possibles

alternatives a valorar podien haver estat la redistribució d'un o més carrils, la modificació de la temporització dels semàfors o la simultaneïtat dels moviments entre vehicles i vianants mitjançant la teoria dels grafs i l'estadística.

A causa de la dificultat elevada i de la magnitud en l'adquisició de dades del trànsit, no ha estat possible realitzar els objectius inicialment proposats i l'estudi s'ha reduït a únicament la intersecció principal.

Així doncs, l'objectiu d'aquest projecte ha estat estudiar la situació actual de la intersecció i buscar alternatives per poder optimitzar-la, tot això mitjançant un treball de camp per recollir dades de flux tant de vianants com de vehicles i posteriorment fer un estudi estadístic d'aquestes dades. Un cop analitzades aquestes dades, s'ha comprovat com estava modelitzat el sistema actual i a partir d'aquest sistema, s'han proposat alternatives a valorar per veure com funcionarien en cada cas. Tot aquest estudi es fa a partir de les dades obtingudes en la franja horària de la tarda perquè és la més conflictiva –més nombre d'usuaris-. Per a les hores del migdia es seguiria la mateixa metodologia però com el nombre d'usuaris és inferior al de la tarda, els resultats obtinguts serien menors i no cobririen la demanda d'usuaris de la tarda.

En realitzar aquest projecte, s'ha pogut veure que hi ha diferents variables a tenir en compte a l'hora d'elaborar una intersecció, ja sigui el flux de trànsit, les dimensions de la zona i el comportament social per tal de poder introduir una cruïlla regulada només amb senyals o si cal introduir semàfors amb les seves fases i temporitzacions corresponents. Els càlculs teòrics realment tenen molts factors a tenir en compte i amb diferències significatives, sort es té que actualment es disposa de programes específics per realitzar les simulacions necessàries.

També s'ha de tenir en compte la part pressupostària a l'hora de realitzar un projecte. En aquest cas, l'adquisició de dades ha estat amb pocs recursos i això fa que el cost no es vegi encarat. L'estudi de les dades recollides, la cerca d'informació, els càlculs realitzats i la redacció del projecte són els apartats on ha repercutit més en el pressupost final del projecte.

### **1.3. Abast**

L'abast del projecte ha estat l'estudi dels fluxos en la intersecció que es forma entre el carrer Joan Maragall i la Gran Via de Jaume I. És una cruïlla que tot i tenir pocs moviments, en les hores més concorregudes es generen embussos provocant un tap i la circulació es veu afectada. Per aquest encreuament hi poden arribar a passar uns 20000 vehicles/dia feiner.

En no haver aconseguit les dades de flux del trànsit a través de l'Ajuntament de Girona (no en tenen ara mateix d'aquesta zona), s'ha hagut de realitzar un treball de camp el qual ha consistit en anar personalment a la cruïlla a les hores on se sap que són les més conflictives –hora de

dinar i mitja tarda-. Aquestes franges horàries són de les més conflictives degut a que la gent surt de treballar o dels col·legis per anar a dinar (hora del migdia) i per tornar a casa o comprar (hora de la tarda).

Aquesta adquisició de dades ha estat bastant difícil ja que no es tenen les eines o aparells necessaris per garantir un comptatge suficientment acurat. Els comptatges s'han realitzat en el mes d'Abril del 2017 i els intervals d'hores aproximadament han estat de les 13:15 – 14:45 i de les 19:15 – 20:15 hores. Per tal de simplificar-ho, s'ha considerat que el flux de dilluns a divendres és similar i també s'han recollit dades del dissabte. El diumenge, al ser un dia de descans, es considera que la població no té un horari rutinari i, en conseqüència, és poc previsible i la disminució de moviments fa que no es generin conflictes. També s'ha evitat la Setmana Santa i altres festivitats perquè serien casos particulars i faria variar de manera significativa l'estudi general.

## 2. TEORIA DEL FLUX VEHICULAR

Aquest capítol aborda la teoria del flux vehicular, que s'entén com la quantitat de vehicles que passen per un carril o via en un període de temps determinat.

### 2.1. Introducció

El trànsit vehicular és el fenomen causat pel flux de vehicles que circulen per una via, carrer, o carretera i poden ser calculats a partir d'unes aproximacions matemàtiques on s'apliquen les lleis físiques i així determinar el nivell d'eficiència del sistema.

Es poden diferenciar dos tipus de flux vehicular –el continu i el discontinu-. El flux continu (autopistes, autovies, carreteres secundaries...) és aquell flux on el vehicle que circula per la via només patirà una interrupció de la marxa per casos aïllats com l'arribada a una destinació específica, un accident de trànsit, un peatge, etc. Per tant, el flux continu és aquell on circulen vehicles on no es trobaran senyalitzacions d'aturada o de semàfors. El flux discontinu o ininterromput (carrers) és aquell flux on els vehicles es veuran obligats a aturar-se varies vegades durant la seva marxa degut als elements de regulació que hi han a les ciutats, com ara, senyals d'aturada (cedir el pas, stop...) o de semàfors.

Aquest projecte clarament està enfocat en el tipus de flux vehicular discontinu.

Hi ha models bàsics per estudiar el flux vehicular, ja siguin models lineals o no lineals com també utilitzant la descripció probabilística seguint la distribució de Poisson, per exemple. Són models que es van elaborar als anys 40 i no han variat al llarg del temps però no són del tot precisos a causa de la incertesa que provoca la conducta humana.

En aquest projecte, no s'han utilitzat aquests models perquè no han estat necessaris ja que els càlculs s'han realitzat a partir de les dades adquirides -en les hores pic- realitzant el treball de camp.

### 2.2. Aforament del flux en hora punta

L'aforament consisteix en comptar els vehicles de la via en un període de temps per a així poder saber el flux vehicular que circula en la intersecció objecte d'estudi. Per aconseguir aquestes dades s'ha hagut de realitzar un treball de camp.

Els moviments de la circulació en aquesta intersecció són els mostrats en la Figura 1, en dos colors (groc i vermell) per diferenciar les dues fases actuals de moviments permesos als vehicles i un tercer color (verd) representant els passos de vianants.

Cal remarcar que en una via que conté dos carrils i s'hi realitza un moviment idèntic, s'han sumat i es comptarà com un grup de carrils (seria com si fos un únic carril però amb els volums vehiculars sumats).

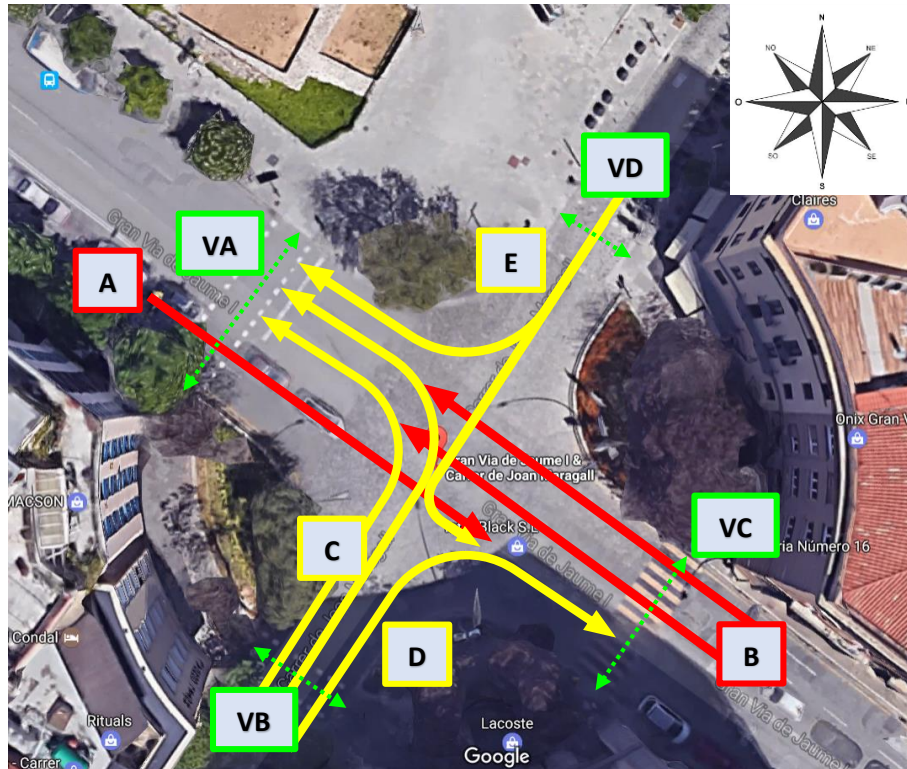


Figura 1. Moviments permesos dels carrils. Font: elaboració pròpia.

Cada lletra representa un flux de moviment dels usuaris de la via. Les lletres majúscules (A, B, C, D, E) fan referència a la direcció del flux vehicular del carril corresponent i les lletres majúscules amb una V a davant (VA, VB, VC, VD) fan referència al flux dels vianants.

L'estudi del comportament humà ha constatat que el conductor no segueix les línies de flux establertes i es dirigeix cap al carril que li convé més, ja sigui per itinerari –s'anticipen a un futur canvi de carril-, per manies personals, espai disponible vers als altres conductors, etc. Però l'estudi es realitzarà seguint aquestes línies perquè el cas totalment real inclou moltes més variables que s'haurien d'estimar i suposar i al cap i a la fi, no serien tampoc gaire reals perquè la conducta humana és força imprevisible.

La ubicació des d'on es va realitzar el comptatge està marcat en la Figura 2 que es pot veure a continuació.





*Figura 2. Ubicació des d'on es realitzava el comptatge del flux. Font: Google maps.*

La disponibilitat horària per aconseguir les dades no ha estat total i, per tant, primer de tot es van comprovar estudis realitzats en anterioritat en altres ciutats i països i es va constatar que solen haver tres pics d'hores punta –matí, hora de dinar i tarda/vespre-. Al ser resident de Girona i haver passat diverses vegades en diferents hores per la intersecció que s'està estudiant, s'ha corroborat que les hores puntes coincideixen amb les d'estudis anteriors, essent la més conflictiva la de la tarda. Així doncs, s'ha dut a terme una recollida de dades entre les franges horàries de 13:15-14:30 i 19:15-20:30 en diferents dies entre setmana del mes d'abril i amb clima assolellat.

Només s'han recollit dades d'un dissabte però el flux era massa elevat per poder fer un aforament suficientment acurat i per això es va descartar. No s'ha realitzat cap estudi del diumenge perquè és un dia festiu i no sol ser tant concorregut, a més a més, encara seria més complicat de predir el flux. També s'ha evitat la Setmana Santa i els dies de pluja.

Un cop adquirits tots els valors, s'ha realitzat un estudi estadístic per veure la viabilitat d'obtenir estimacions de dades fiables i aconseguir treure un valor de flux homogeni entre tots els dies.

En la Taula 1 es pot veure com s'han recollit les dades en un full d'Excel.

**Taula 1.** Aforament de flux del 04 d'Abril del 2017, hora 19:15. Font: elaboració pròpia.

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I																vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h											
																Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	màxim q 15'											
vehicles	C		17	15	14	10	12	10	13	12	8	14	16	6	12	11	12	10	15	12	11	7	12	11	14	7	281	24	375	94	103
	D		2	2	2	4	1	0	3	0	4	2	0	0	4	1	0	3	1	0	1	0	0	1	2	1	34	24	45	11	14
	E (GD)		3	1	1	3	1	1	2	1	0	0	0	1	2	3	3	4	4	2	1	0	5	2	2	4	46	24	61	15	20
	E (GE)		1	1	2	1	1	0	2	3	4	2	0	0	1	2	2	1	2	3	2	0	0	4	0	1	35	24	47	12	12
vianants	VA		10	15	8	5	3	3	4	4	8	5	3	8	7	4	8	6	7	10	7	3	5	4	8	6	151	24	201	50	52
			3	7	5	2	3	6	5	8	7	9	5	7	5	6	4	5	0	1	2	7	2	5	4	7	115	24	153	38	48
	VC		10	7	10	5	6	15	6	7	6	8	8	6	6	17	30	6	10	12	8	7	6	8	15	10	229	24	305	76	87
			15	16	18	12	15	21	12	7	19	13	10	17	15	7	15	12	10	18	10	20	13	17	12	15	339	24	452	113	116
Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall																vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15' <td colspan="1">vehicles/h</td>	vehicles/h											
																Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	màxim q 15'											
vehicles	A		15	16	20	10	5	12	12	10	19	17	15	13	19	15	12	11	9	17	12	15	8	11	14	18	325	24	433	108	121
	B		22	14	17	20	12	14	6	11	17	15	18	16	6	8	5	7	12	17	14	13	9	13	17	15	318	24	424	106	116
vianants	VD		1	0	3	0	4	3	0	0	1	0	2	3	0	0	1	0	2	1	5	3	0	2	2	1	34	24	45	11	16
			5	1	0	0	0	0	0	1	2	1	2	1	0	1	1	2	0	2	2	0	1	1	1	3	27	24	36	9	10
	VB		2	2	0	1	2	3	3	0	2	3	8	2	6	0	2	1	3	4	1	1	2	5	3	7	63	24	84	21	26
			1	3	0	5	3	5	4	0	3	2	5	7	3	3	1	3	2	2	4	1	2	2	1	1	63	24	84	21	27

Es pot veure que la informació està dividida en dues parts –corresponen a les dues fases del cicle semafòric-. Les fletxes indiquen el moviment realitzat per l'usuari de la via i el color serveix per diferenciar ràpidament si són vehicles (blau) o vianants (groc).

El cicle semafòric –duració de les etapes de tots els moviments dins de la intersecció- actual té una duració de 110 segons, per tant, en una hora hi ha un total de 64 fases en un cicle (32 etapes de la fase verda 1 + 32 etapes de la fase verda 2, aproximadament).

La disponibilitat i dificultat a l'hora d'adquirir les dades ha provocat que, excepte en el cas mostrat en la Taula 1, no s'hagi aconseguit mai recollir les 32 mostres que correspondrien a una hora completa, per això s'ha fet una correcció horària que ha consistit en sumar les dades del flux, multiplicar per 32 (nº mostres/h) i dividir-ho pel número de mostres adquirides. Aquesta dada correspon al volum d'hora màxima demanda (VHMD). El VHMD consisteix en el número total de usuaris que han passat per aquella via en una hora.

Per saber el flux de màxima demanda el que es fa és dividir en intervals de 15 minuts (8 mostres en aquest cas) i el valor més alt correspon al  $q_{\text{màx } 15'}$ . Per exemple, el primer  $q_{\text{màx } 15'} = 90$  vehicles/hora (seria del quart quart de l'hora).

### 2.3. Estudi estadístic del flux

En la Taula 2 es poden veure els valors més importants –correcció hora i flux màxima demanda– i amb els que es realitzaran els càlculs.

Taula 2. Resum dels fluxos entre els dies recopilats d'un carril concret. Font: elaboració pròpia.

C	vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h
	Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda
04-abr	321	32	321	80	90	
05-abr	273	24	364	91	93	
24-abr	260	24	347	87	99	
Mitjanes	285		<b>344</b>	86	94	<b>376</b>
Desviació estàndard	32		22	5	5	

En la Taula 2, s'ha agafat un carril en concret i s'han mirat els totals dels fluxos amb les seves corresponents correccions i els  $q_{m\grave{a}x 15'}$ . Els valors amb els que es realitzaran els posteriors càlculs són els de les mitjanes. Aquestes dades han donat unes desviacions estàndard bastant bones (petites). Si es calculés el coeficient de variació (mitjana / desviació estàndard) donen valors relativament baixos, entre un 10-20%. En ciències exactes un 10% es considera que són valors bons, en ciències no exactes (aquest cas ho és) té un marge més elevat a causa de la poca fiabilitat de les mostres en intervenir-hi factors poc previsibles. En la Figura 3 es mostra una estimació dels fluxos actuals de màxima demanda corresponent a la franja horària del migdia.

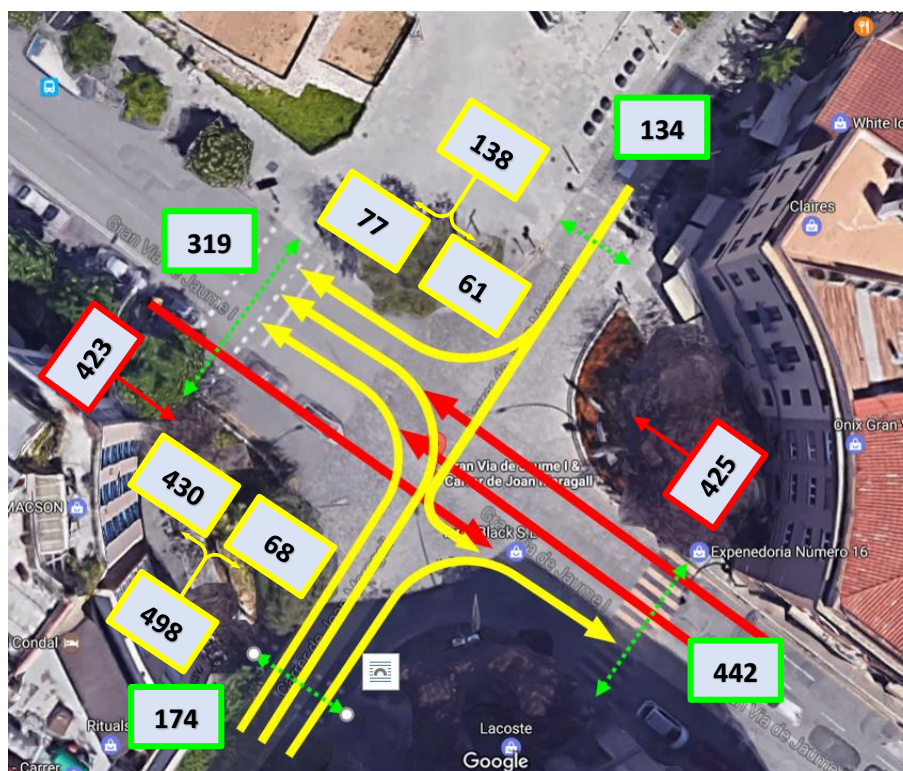


Figura 3. Intersecció amb els seus respectius fluxos de màxima demanda, a la tarda. Font: elaboració pròpia.

## 2.4. Càlculs dels fluxos equivalents

Els fluxos equivalents són els fluxos vehiculars de màxima demanda en una hora (VHMD) aplicant uns factors d'ajustament que es poden veure com es calculen en els apartats següents.

### 2.4.1. Càlcul del factor de l'hora de màxima demanda (FHMD)

En la recerca d'informació normalment es pren el valor entre 0.85 i 0.95, això significa que el flux dels quatre intervals corresponents a una hora són bastant constants, però es troba a partir de l'equació 1.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 \cdot (q_{\max 15'})} \quad (\text{Eq.1})$$

On:

VHMD : volum horari de màxima demanda (l'aforat en el treball de camp).

$q_{\max 15'}$  : flux màxim en un període de 15 minuts.

A la Taula 3 que es mostra a continuació es poden veure els FHMD que surten per a cada flux vehicular.

*Taula 3. FHMD per les dades de la tarda. Font: elaboració pròpia.*

Factor hora pic de la tarda per a cada carril				
Transport	Direcció	VHMD	q màx 15'	FHMD
vehicles	C	381	430	<b>0,89</b>
	D	49	68	<b>0,72</b>
	E (GD)	77	96	<b>0,81</b>
	E (GE)	61	90	<b>0,67</b>
	A	423	482	<b>0,88</b>
	B	425	466	<b>0,91</b>

Com es pot comprovar, els valors no són els típics (0.85 – 0.95), això és degut a que els  $q_{\max 15'}$  tenen unes diferències significatives en comparació amb els fluxos dels altres intervals.

### 2.4.2. Càlcul del factor de vehicles pesants ( $f_{VP}$ )

En les vies a la ciutat no només hi passen vehicles privats –particulars-, també s'han de tenir en compte els vehicles pesants com autobusos i camions ja que alenteixen la circulació i amb l'equació 2 es pot esbrinar aquest factor d'ajustament.

$$f_{VP} = \frac{100}{100 + P_C \cdot (E_C - 1) + P_B \cdot (E_B - 1) + P_R \cdot (E_R - 1)} \quad (\text{Eq.2})$$

On:

$f_{VP}$ : factor d'ajustament per a vehicles.

$P_C$ : percentatge de camions.

$E_C$ : automòbils equivalents a un camió.

$P_B$ : percentatge de autobusos.

$E_B$ : automòbils equivalents a un autobús.

$P_R$ : percentatge de recreacions.

$E_R$ : automòbils equivalents a un vehicle de recreació.

Els vehicles de recreació són vehicles com els quads o les trimotos. No se'n va veure cap, per tant, el valor és 0.

Segons la Taula 4 mostrada a continuació, fent una suma dels percentatges dels transports considerats com a pesants –vehicles més grans que un cotxe-, surt que un 1% es desplaça per les comarques de Girona. En realitzar el treball de camp, no es van comptar gaires furgonetes o vehicles similars, per tant, considerem que l'1% és un percentatge que el podem assumir com a correcte.

**Taula 4.** % dels transports utilitzats per desplaçar-se per les comarques de Girona. **Font:** Gutiérrez, O. La mobilitat quotidiana a les comarques de Girona(2008).

Mitjà de transport principal	Dia feiner		Dia festiu	
	Desplaçaments	%	Desplaçaments	%
A peu	818.124	39,9	515.674	35,6
Bicicleta	35.332	1,7	19.793	1,4
<b>Modes no motoritzats</b>	<b>853.456</b>	<b>41,6</b>	<b>535.467</b>	<b>37,0</b>
Autobús urbà	17.965	0,9	5.889	0,4
Autobús interurbà	14.368	0,7	4.369	0,3
Metro	1.906	0,1	895	0,1
Tramvia	69	0,0	160	0,0
FGC	980	0,0	943	0,1
Rodalies Renfe	17.074	0,8	5.371	0,4
Autobús empresa	5.715	0,3	942	0,1
Autobús escolar	25.054	1,2	2.366	0,2
Autocar (excursions)	1.815	0,1	6.518	0,5
Taxi	2.023	0,1	1.755	0,1
Tren regional/larg recorregut	2.970	0,1	2.127	0,1
Avió	211	0,0	657	0,0
Altres transport públic	0	0,0	137	0,0
<b>Transport públic</b>	<b>90.151</b>	<b>4,4</b>	<b>32.129</b>	<b>2,2</b>
Amb cotxe com a conductor	802.038	39,1	534.996	37,0
Amb cotxe com a acompanyant	206.095	10,1	289.436	20,0
Amb moto com a conductor	73.307	3,6	38.579	2,7
Amb moto com a acompanyant	4.002	0,2	5.310	0,4
Furgoneta/camió	18.024	0,9	6.893	0,5
Altres vehicle privat	2.308	0,1	5.066	0,3
No ho sap / No contesta	26	0,0	0	0,0
<b>Transport privat</b>	<b>1.105.800</b>	<b>54,0</b>	<b>880.280</b>	<b>60,8</b>
<b>Total</b>	<b>2.049.407</b>	<b>100,0</b>	<b>1.447.875</b>	<b>100,0</b>

Font: elaboració a partir de les dades de l'ATM, Generalitat de Catalunya i IERMB, 2006.

Les variables Es són factors tabulats per poder calcular els ajustaments dels fluxos i es poden veure a continuació en la taula 5:

**Taula 5.** Valors per a factors de vehicles equivalents. **Font:** Amelunge Martínez, F. Diseño, fases i tiempos de semáforos.

<i>AUTOMOVILES EQUIVALENTES</i>	<i>VALOR</i>	<i>OBSERVACION</i>
E <sub>C</sub> , E <sub>B</sub>	1,4 a 1,6	Valores comúnmente utilizados, sin embargo, pueden ser mayores.
E <sub>C</sub> , E <sub>B</sub>	1,5	Para accesos con pendientes cercanos al 0% con predominio de camiones livianos o medianos.
E <sub>V</sub>	1,4 a 1,6	Para vueltas hacia la izquierda.
E <sub>V</sub>	1 a 1,4	Para vueltas hacia la derecha.
FHMD	0,95	Para proyecto y diseño de planes de tiempos del Semáforo.

En cas de tenir un interval de valors en els factors per calcular els vehicles equivalents, s'agafarà el valor mig.

Com es pot observar en la Taula 6 a continuació, aquests són els factors de vehicles pesants que s'han d'aplicar en la franja horària de la tarda.

*Taula 6. Factor de vehicles pesants de la tarda. Font: elaboració pròpia.*

Factor de vehicles pesants de la tarda per a cada carril						
Transport	Direcció	Pc	Ec	Pb	Eb	Fvp
vehicles	C	1	1,5	4	1,5	<b>0,977</b>
	D	1	1,5	24	1,5	<b>0,891</b>
	E (GD)	1	1,5	17	1,5	<b>0,919</b>
	E (GE)	1	1,5	18	1,5	<b>0,914</b>
	A	1	1,5	3	1,5	<b>0,979</b>
	B	1	1,5	3	1,5	<b>0,978</b>

Aquests valors obtinguts són bastant propers al 1, ja són els habituals perquè el número de vehicles pesants que passen per la via respecte als cotxes correspon a un % reduït.

### 2.4.3. Càlcul del flux de vehicles equivalents ( $q_{ADE}$ )

El flux de vehicles equivalents és el flux important a saber perquè és el valor el qual ja s'han aplicat els factors d'ajustament i amb el que es realitzaran els càlculs de la intersecció.

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \cdot \left(\frac{1}{f_{VP}}\right) \cdot E_V \quad (\text{Eq.3})$$

On:

VHMD : volum horari de màxima demanda.

FHMD : factor de l'hora de màxima demanda.

$f_{VP}$  : factor d'ajust per a vehicles.

$E_V$  : vehicles gir equivalents (si la circulació és recta  $E_V = 1$ ).

A continuació en la Taula 7 es poden veure els fluxos de vehicles equivalents de la franja horària de la tarda, obtinguts al aplicar l'equació 3 mostrada anteriorment.

Taula 7. Flux de vehicles equivalents de la tarda. Font: elaboració pròpia.

Flux de vehicles equivalents de la tarda per a cada carril						
Transport	Direcció	FHMD	FHMD	Ev	Fvp	qade
vehicles	C	381	0,89	1,5	0,977	<b>660</b>
	D	49	0,72	1,2	0,891	<b>92</b>
	E (GD)	77	0,81	1,2	0,919	<b>125</b>
	E (GE)	61	0,67	1,5	0,914	<b>148</b>
	A	423	0,88	1	0,979	<b>492</b>
	B	425	0,91	1	0,978	<b>476</b>

Es pot observar en la Figura 4 els valors dels fluxos equivalents per a cada carril.

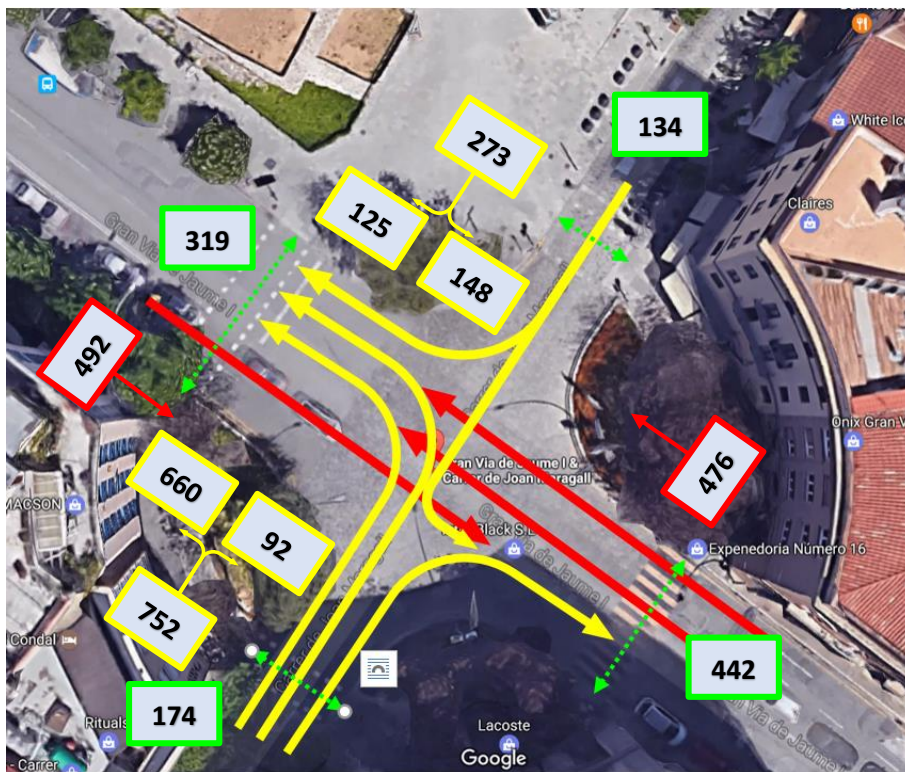


Figura 4. Intersecció amb els seus respectius fluxos de vehicles equivalents, a la tarda. Font: elaboració pròpia.

Si es compara la Figura 4 amb la Figura 3 es pot veure que els fluxos dels vehicles han augmentat –com és d’esperar perquè se li han aplicat els ajustaments-. Els fluxos dels vianants (representats de color verd) no han variat perquè no es veuen afectats per la quantitat i tipologia de vehicles que circulen per la via.



### **3. TRÀNSIT EN VIES URBANES (INTERSECCIONS AMB SEMÀFORS)**

Aquest capítol tractarà d'explicar els diferents tipus de semàfors i els càlculs necessaris per decidir quins temps s'adjudicaran a les fases verdes.

#### **3.1. Introducció**

Qualsevol zona que vulgui estar comunicada amb una altra requereix d'un camí o carretera per on es pugui circular amb un vehicle per a així poder arribar a la destinació desitjada. Quant més gran sigui la zona i més trànsit hi passi, més important és la regulació d'aquests recorreguts per poder tenir un ordre de circulació satisfactori. Així doncs, un concepte que està en totes les vies és la intersecció –encreuament o cruïlla-. Una cruïlla és el punt comú on es creuen dos o més vies de trànsit.

Aquestes interseccions poden ser a nivell o a desnivell, amb o sense control a través de senyalitzacions o semàfors.

Els trams urbans tenen com a característiques una velocitat de circulació baixa i una variabilitat alta durant tot el dia, amb una major concentració de vehicles a les hores punta.

El cas d'estudi corresponen en una intersecció a nivell amb control mitjançant els semàfors.

#### **3.2. Conceptes bàsics**

A una intersecció amb semàfors, interessa saber la capacitat màxima que permet ser travessada en un determinat interval de temps –generalment una hora-. Per realitzar el càlcul és necessari saber les condicions geomètriques de la intersecció, del trànsit i dels mecanismes reguladors que hi ha, en aquest cas, els semàfors.

#### **3.3. Tipus d'interseccions amb semàfors**

Hi ha dues tipologies d'interseccions amb semàfors que s'expliquen a continuació. En aquest treball s'han fet els càlculs per definir el número i els temps de les fases.

##### **3.3.1. Interseccions amb semàfor segons el número de fases**

Les cruïlles semafòriques s'han d'intentar modelitzar amb el menys número de fases possible per tal de tenir el temps perdut mínim que transcórrer entre canvis de fase, per això, generalment solen ser de dues fases –és el mínim-. Però, en alguns casos és inevitable haver-hi

d'afegir més fases per poder realitzar moviments de gir sense entrar en conflicte amb altres moviments de la via.

El cas plantejat és una intersecció de dues fases –carrer Joan Maragall amb la Gran Via de Jaume I-.

A Girona es pot trobar una intersecció de tres fases amb el carrer Emili Grahit i el carrer Migdia. També hi ha un cicle semafòric de quatre fases a l'alçada del Corte Inglés amb la carretera Barcelona i el carrer Caldes de Montbui.

Els semàfors s'han enumerat per poder saber en quin semàfor s'està treballant i es pot veure a la Figura 5 a continuació.

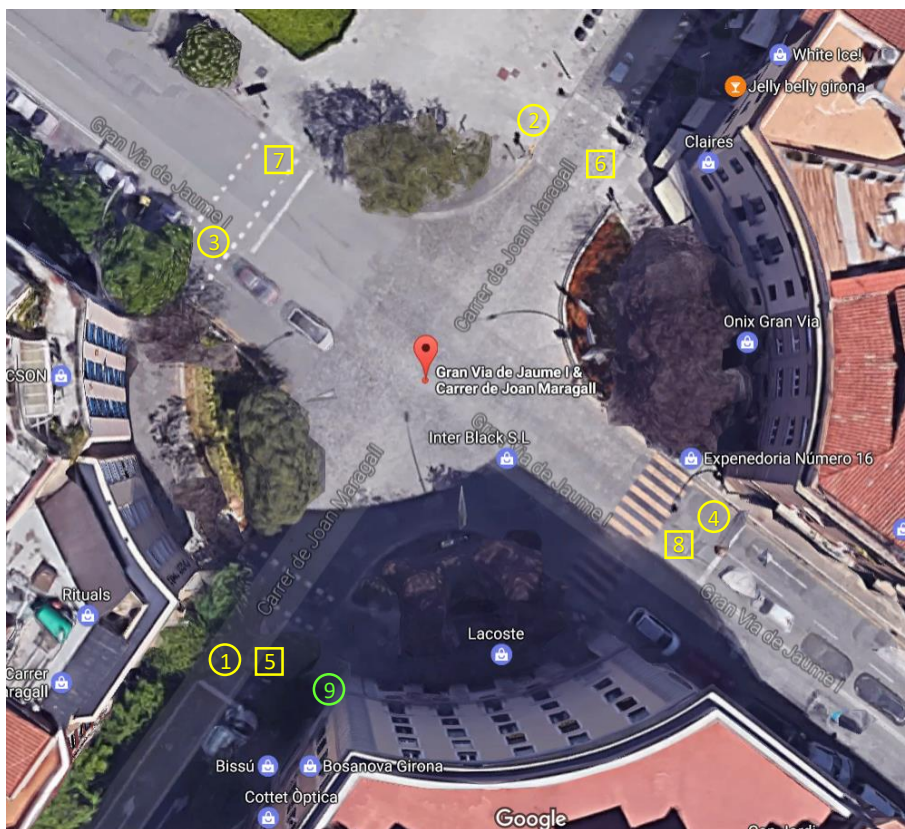


Figura 5. Enumeració semafòrica. Font: elaboració pròpia.

Els números del 1 al 4 corresponen als semàfors per als vehicles i els que van del 5 al 8 són els dels vianants. Hi ha un semàfor número 9 de diferent color –en verd- perquè actualment no existeix, és un semàfor que es tindrà en compte en algunes alternatives a valorar.

### 3.3.2. Interseccions amb semàfor segons el servei

El nivell del servei és un indicador de com funciona aquella intersecció i ve donada per la demora experimentada pels usuaris. Es poden distingir sis nivells de servei.

*Taula 8. Nivell de servei en les interseccions semafòriques. Font:*

A	Operacions amb poca demora (< 5 s.). Els vehicles arriben a la intersecció en la fase verda.
B	Operacions amb una lleugera demora (5-15 s.). Hi ha parades esporàdiques i els cicles semafòrics són curts.
C	Operacions amb una demora considerable (15-25 s.) El cicle és més llarg i es detenen un nombre de vehicles a tenir en compte.
D	Demora elevada (25-40 s.). En aquest cas la congestió és considerable i molts vehicles s'aturen.
E	Demora molt elevada (40-60 s.). Els vehicles avancen amb lentitud i els cicles són de llarga durada. En aquest nivell de servei el grau de congestió és elevat.
F	La demora ja supera el minut i és un nivell inacceptable pels conductors. Es provoca una sobresaturació deguda a que el flux d'arribada supera la capacitat de la intersecció.

### 3.4. Tipus de semàfors

Hi ha diferents tipus de semàfors depenent dels usuaris a qui van dirigits. Com es veurà a continuació en els següents apartats, hi ha semàfors específics per als vehicles i altres per als vianants.

#### 3.4.1. Introducció

El semàfor és un dispositiu de senyalització lluminosa i la seva funció és regular el trànsit en les vies –sobretot en les vies públiques–.

Hi ha diferents tipus de semàfors, els més coneguts són els que regulen als vehicles i als vianants. Generalment un semàfor per als vehicles està compost de tres llums rodones de diferent color (vermell, groc/ambre i verd) com el de la Figura 6(a) i s'encenen de forma successiva i seqüencial. Els semàfors per a vianants són dos llums (vermell i verd) amb la silueta d'un vianant de la Figura 6(b).

En haver-hi més d'un semàfor en una intersecció, aquests semàfors estan tots encesos de forma simultània i depenen de la fase en que estiguin, estaran encesos d'un color o altre.

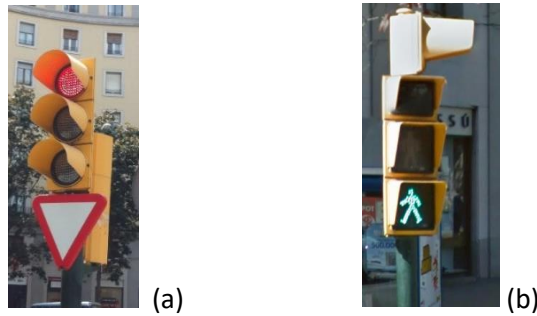


Figura 6. Semàfor per a vehicles (a), semàfor per a vianants (b). Font: elaboració pròpia.

A l'hora de regular un semàfor, s'han de tenir en compte dos conceptes: la fase i el cicle.

- La fase: és el temps en que es poden realitzar els moviments dins de la intersecció. Així doncs, és quan la llum del semàfor està en verd i el temps d'aclariment (ambre).
- El cicle: és el temps total necessari que transcórrer per tornar-se a repetir les mateixes condicions de regulació dins de la intersecció.

En la Figura 7 es pot veure un exemple del que és una intersecció, amb els seus respectius moviments en les vies de trànsit i les seves corresponents fases "A" i "B".

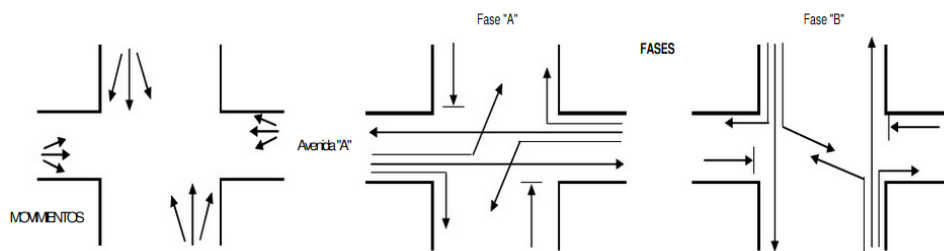


Figura 7. Intersecció amb els moviments de les vies i les seves dues fases semafòriques. Font: Tarquino, F. Ingeniería de tránsito.

Per tal de visualitzar com quedaria un cicle semafòric s'elabora un diagrama de fases com el de la Figura 8.

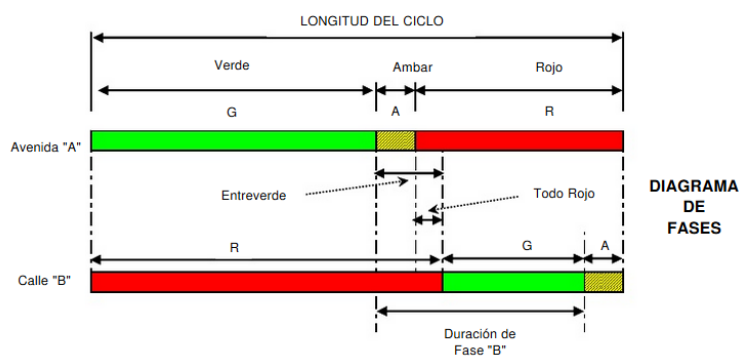


Figura 8. Longitud del cicle. Font: Tarquino, F. Ingeniería de tránsito.

### 3.4.2. Semàfors de temps fix

S'utilitzen en interseccions on el flux de trànsit no presenten variacions importants en el temps i que no ocasionen demores o congestions en excés. Per la seva senzillesa, aquest és el tipus de semàfor més utilitzat en les zones urbanes, sobretot si hi ha una successió de semàfors en una mateixa via.

### 3.4.3. Semàfors accionats per el trànsit

Aquests semàfors tenen un detector -compta els vehicles-. Depenent de la intensitat del trànsit, decideix si ha de canviar de fase o no. Cal tenir en compte que aquests semàfors estan adaptats i integrats en el cicle semafòric per tal d'evitar excessos de cues. Aquests semàfors són aplicats en interseccions on hi ha conflictes a causa del girs cap a l'esquerra.

### 3.4.4. Semàfors amb control centralitzat mitjançant una sala de control

Una sala amb ordinadors és l'encarregada de gestionar i controlar els semàfors d'aquella zona. Aquests ordinadors recullen les dades del trànsit en punts estratègicament ubicats i així es calcula i es decideix què convé en aquella franja horària. Aquests semàfors són utilitzats en grans zones urbanes.

## 3.5. Càlculs de temps del semàfor

En instal·lar semàfors, el que s'ha d'intentar és obtenir el mínim de demores possible i això es pot aconseguir reduint al màxim el temps perdut i realitzar els màxims moviments possibles en una sola fase però prioritzant la seguretat i eficiència.

La distribució dels temps de la fase i del cicle està relacionada amb els volums del trànsit i els moviments corresponents produïts a la intersecció.

Per calcular el temps total del cicle s'han d'aplicar la següent sèrie de fórmules.

### 3.5.1. Càlcul de l'interval de canvi de fase

$$IC = y = \left( t + \frac{v}{2 \cdot a} \right) + \left( \frac{W+L}{v} \right) \quad (\text{Eq.4})$$

On:

IC o y: interval de canvi de fase –ambre + tot vermell- (s).

- t: temps de percepció-reacció del conductor (generalment 1 s).
- v: velocitat d'aproximació dels vehicles (m/s).
- a: taxa de desacceleració (generalment  $3.05 \text{ m/s}^2$ ).
- W: amplada de la intersecció que s'ha de recórrer (m).
- L: longitud del vehicle (s'agafa 6.10 m).

La primera part de l'equació 4 correspon al temps en ambre –temps necessari per recórrer la distància de parada- i la segona part equival al temps de vermell total –temps necessari per creuar la intersecció-. En cas de que surtin temps en decimals, s'agafa l'enter següent.

Les vies que formen la intersecció a estudiar segons l'Ajuntament de Girona, la qualifiquen com a vies de xarxa secundària. La velocitat d'aquestes vies és de 30 km/h excepte els carrils de la Gran Via de Jaume I de l'orientació NO que són de 50 km/h (màxima velocitat permesa dins de ciutat). Per simplificar els càlculs, considerant també que els cotxes s'acosten a carrils on s'ha de reduir la velocitat, durant un temps considerat el nombre de vianants és elevat i el paviment de la cruïlla no és asfaltada –és de llambordes-, a causa de tots aquests factors, es pot considerar que la velocitat de creuar per a tots els casos és de 30 km/h.

A continuació, en la figura 9 es veuen les distàncies W corresponents a la intersecció i l'amplada dels carrils –tots per igual-.



Figura 9. Distàncies en metres de la intersecció. Font: elaboració pròpia.

Aplicant l'equació 4 els resultats obtinguts són els de la Taula 9 mostrada a continuació.

*Taula 9. Temps de l'interval de canvi de fase. Font: elaboració pròpia.*

	s	km/h	m/s	m/s <sup>2</sup>	s	s	m	m	s	s
Direcció	t	v	v	a	t. Ambre	Arrod. Ambre	W	L	t. Tot vermell	Arrod. Tot verm.
A	1	30	8,33	3,05	2,37	3	35	6,1	4,93	5
B	1	30	8,33	3,05	2,37	3	33	6,1	4,69	5
C	1	30	8,33	3,05	2,37	3	33	6,1	4,69	5
D	1	30	8,33	3,05	2,37	3	33	6,1	4,69	5
E	1	30	8,33	3,05	2,37	3	34	6,1	4,81	5

Aquesta intersecció és molt gran degut a que té varis carrils per via i perquè les voreres tenen una amplada considerable i també la velocitat és bastant reduïda i això provoca que el càlcul teòric de l'interval de canvi de fase surtin valors tant elevats i no són viables en la pràctica. Habitualment en els casos reals es destinen uns 4-5 segons pel temps de canvi de fase. Això és així perquè com es veurà a continuació, aquest temps es considera com a temps perdut degut a que impossibilita el moviment de qualsevol usuari.

### 3.5.2. Temps perdut total

El temps perdut total és la suma de tots els temps d'ambre i de tot vermell per a cada fase semafòrica.

$$L = \sum_{i=1}^{\varphi} IC_i \quad (\text{Eq.5})$$

On:

IC<sub>i</sub>: interval de canvi de la fase "i" (s).

L: temps perdut total.

En cas de discrepàncies en els temps calculats, s'agafa el més gran perquè és el més conflictiu – respectant el rang de 4-5 segons per a cada fase-.

La situació actual té un cicle semafòric de dues fases i cadascuna té un temps en ambre de 3 segons i 2 segons de tot vermell.

$$L = (3 + 2) + (3 + 2) = 10 \text{ s}$$

### 3.5.3. Flux de saturació

El flux de saturació és el flux màxim que un carril pot suportar per poder mantenir un constant moviment de vehicles. Per saber quin és aquest flux de saturació, cal utilitzar l'equació 6 mostrada a continuació.

$$S_i = S_0 \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_a \cdot f_{bb} \cdot f_{LU} \cdot f_{RL} \cdot f_{LT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \quad (\text{Eq.6})$$

On:

$S_i$ : flux de saturació pel carril considerat per al grup de carrils (vehicles/h/grup).

$S_0$ : flux de saturació ideal pel carril, equival a 1750 vehicles/h/carril.

$N$ : número de carrils.

$f_i$ : factors d'ajustament.

En aquesta fórmula s'han de calcular els factors d'ajustament amb les seves característiques particulars per a cada carril que s'expliquen a continuació.

1) Factor d'ajustament per l'amplada de carril ( $f_w$ ):

Aquest factor té en compte l'amplada del carril ( $W$ ) per on es circula. L'amplada ha de ser igual o superior a 2.4 metres. Mesurant en el mapa, tots els carrils mesuren 2.8 metres aproximadament (Figura 9, vista a l'apartat anterior) i el factor es calcula amb l'equació 7.

$$f_w = 1 + \frac{W-3.6}{9} \quad (\text{Eq.7})$$

$$f_w = 1 + \frac{2.8 - 3.6}{9} = \mathbf{0.911}$$

2) Factor d'ajustament per vehicles pesants ( $f_{HV}$ ):

És un factor de correcció per demora addicional ocasionat pels vehicles pesants que no circulen de forma tant àgil i ocupen més espai a la via.

$$f_{HV} = \frac{1}{1+HV \cdot (E_c-1)} \quad (\text{Eq.8})$$

On:

$HV$ : és el tant per u de vehicles considerats com a pesants.

$E_c$ : paràmetre d'automòbils equivalents, s'agafa un valor de 2.

$HV = 1\%$  aproximadament, mirant la Taula 4 adjuntada a l'apartat 2.4.2 i una estimació del vist al fer el comptatge.



$$f_{HV} = \frac{1}{1+0.02 \cdot (2-1)} = \mathbf{0.99}$$

3) Factor d'ajustament per la inclinació d'accés ( $f_g$ ):

És un corrector que té en compte l'efecte que provoca una pendent en la velocitat del vehicle. En l'encreuament que s'estudia no hi ha cap inclinació, per tant, aquest factor és 1. El valor de la pendent "i" s'ha d'introduir com a %.

$$f_g = 1 - \frac{i}{200} \quad (\text{Eq.9})$$

$$f_g = 1 - \frac{0}{200} = \mathbf{1}$$

4) Factor d'ajustament per l'existència d'un carril per estacionar ( $f_p$ ):

En el carril de la Gran Via de Jaume I que va en direcció NO-SE es pot aparcar. En el moment de recopilar les dades, es va poder comprovar que durant aquelles hores només es van veure dos cops com algun vehicle aparcava. Amb aquesta premissa, considerem que s'ha vist un estacionament cada hora.

En el carril del carrer Joan Maragall que va de NE-SO poden aparcar les motos, al no requerir maniobres, no es compta com a aparcament. Els carrils de les altres vies no està permès estacionar.

$$f_p = 1 - \frac{0.1}{N} - \frac{18 \cdot N_m}{3600 \cdot N} > 0.05 \quad (\text{Eq.10})$$

On:

N: número de carrils en aquella via.

$N_m$ : número d'estacionaments en una hora.

Carril direcció NO-SE amb estacionament:

$$f_p = 1 - \frac{0.1}{1} - \frac{18 \cdot 1}{3600 \cdot 1} = \mathbf{0.895}$$

1 carril sense estacionament:

$$f_p = 1 - \frac{0.1}{1} - \frac{18 \cdot 0}{3600 \cdot 1} = \mathbf{0.9}$$

2 carrils sense estacionament:

$$f_p = 1 - \frac{0.1}{2} - \frac{18 \cdot 0}{3600 \cdot 2} = \mathbf{0.95}$$

5) Factor d'ajustament per tipus d'àrea en la zona urbana ( $f_a$ ):

En tractar-se del centre urbà, el factor d'ajustament és de 0.9, altrament, per les zones perifèriques seria igual a 1.

En aquest cas s'ha de considerar  $f_a = \mathbf{0.9}$ .

6) Factor d'ajustament per l'efecte d'obstrucció d'autobusos ( $f_{bb}$ ):

Per considerar aquest factor, ha d'haver-hi una parada d'autobús no més lluny de 75 metres de la intersecció. N'hi ha una en un dels carrils de la Gran Via de Jaume I en la direcció SE-N. Concretament, hi paren les línies L1, L2, L5, L7 i L11 -5 línies en total-.

El càlcul d'aquest factor ve donat per l'equació 11:

$$f_{bb} = 1 - \frac{14.4 \cdot N_b}{3600 \cdot N} \geq 0.05 \quad (\text{Eq.11})$$

On:

$N_b$ : número de busos que passen en una hora. Passen cada 15 minuts.

$N$ : número de carrils en aquella via.

$$f_{bb} = 1 - \frac{14.4 \cdot 4 \cdot 5}{3600 \cdot 3} = \mathbf{0.973}$$

7) Factor d'ajustament per la utilització del carril ( $f_{LU}$ ):

$$f_{LU} = \frac{v_g}{v_{gl} \cdot N} \quad (\text{Eq.12})$$

On:

$v_g$ : taxa de flux de demanda no ajustada per el grup de carrils (vehicles/hora).

$v_{gl}$ : taxa de flux de demanda no ajustada en un carril de màxim volum del grup (vehicles/h).

$N$ : número de carrils en el grup.

Aquest factor amb una  $N \geq 2$  si que és diferent a 1 però durant el treball de camp no es va poder comptar les proporcions de vehicles pels grups de carrils, així doncs, per simplificar-ho, per a totes les vies el factor serà de 1.  $f_{LU} = 1$

8) Factor d'ajustament pels girs a la dreta ( $f_{RT}$ ):

El primer que s'ha de tenir en compte és si el carril és d'ús exclusiu per girar o és compartit. Després, s'ha de definir si és amb fase protegida (té una fase verda només per aquest moviment), fase permesa (comparteix fase amb els altres carrils) o protegida + permesa (és la suma de les dues fases verdes).

En aquest cas, tots els girs són de fase protegida respecte als altres vehicles i hi ha un que és d'ús exclusiu i un altre de compartit.

Carril exclusiu fase protegida (flux D):

$$f_{RT} = 0.85 \quad (\text{Eq.13})$$

Aquest factor en aquestes condicions –carril exclusiu en fase protegida- té com a valor el 0.85 directament. En canvi, quan el carril és compartit, s'ha de calcular aplicant l'equació 14 que es pot observar a continuació.

Carril compartit fase protegida (flux E):

$$f_{RT} = 1 - 0.15 \cdot P_{RT} \quad (\text{Eq.14})$$

On:

$P_{RT}$ : proporció de girs a la dreta en el grup de carrils.

9) Factor d'ajustament pels girs a l'esquerra ( $f_{LT}$ ):

Carril exclusiu fase protegida (flux C):

$$f_{LT} = 0.95 \quad (\text{Eq.15})$$

Com passava amb el  $f_{RT}$ , el  $f_{LT}$  també té un valor directe al ser un carril exclusiu de fase protegida. En canvi, si el carril és compartit, s'ha de calcular amb l'equació 16.

Carril compartit fase protegida (flux E):

$$f_{LT} = \left( \frac{1}{1+0.05 \cdot P_{LT}} \right) \quad (\text{Eq.16})$$

On:

$P_{LT}$ : proporció de girs a l'esquerra en el grup de carrils.

10) Factor d'ajustament pels girs a l'esquerra de vianants i bicicletes ( $f_{Lpb}$ ):

Aquest factor és el que relaciona el conflicte amb els altres usuaris –vianants i bicicletes- de la via que efectuen el moviment a la vegada que els vehicles.

$$f_{Lpb} = 1 - P_{LT} \cdot (1 - A_{pbt}) \cdot (1 - P_{LTA}) \quad (\text{Eq.17})$$

On:

$P_{LT}$ : proporció del volum de girs a l'esquerra.

$A_{pbt}$ : factor d'ajustament per a la fase permesa de vianants per als moviments de gir.

$P_{LTA}$ : proporció de girs a l'esquerra amb la fase protegida.

No hi ha fase protegida, per tant,  $P_{LTA} = 0$ .

Així doncs, en l'equació 17 és la que defineix el factor d'ajustament  $f_{Lpb}$  però s'ha de trobar la variable  $A_{pbt}$  que es pot fer seguint els passos mostrats a continuació.

- *Pas 1:* trobar l'ocupació mitjana dels vianants  $OCC_{pedg}$ .

$$v_{pedg} = v_{ped} \cdot \left( \frac{c}{g_p} \right) \quad (\text{Eq.18})$$

$$OCC_{pedg} = \frac{v_{pedg}}{2000} \quad (v_{pedg} \leq 1000, OCC_{pedg} \leq 0.5) \quad (\text{Eq.19})$$

$$OCC_{pedg} = 0.4 + \frac{v_{pedg}}{10000} \quad (1000 \leq v_{pedg} \leq 5000, 0.5 \leq OCC_{pedg} \leq 0.9) \quad (\text{Eq.20})$$

On:

$v_{ped}$ : volum de vianants.

$v_{pedg}$ : taxa de flux de vianants.

$g_p$ : fase de llum verda per als vianants (s).

C: cicle semafòric total (s).

- *Pas 2:* trobar l'ocupació rellevant de la zona de conflicte  $OCC_r$ .

$$OCC_r = OCC_{pedg} + OCC_{bicg} - OCC_{pedg} \cdot OCC_{bicg} \quad (\text{Eq.21})$$

On:

$OCC_{bicg}$ : ocupació mitjana de les bicicletes.

$OCC_{bicg}$  és igual a 0 perquè en els passos de vianants d'aquesta cruïlla no tenen un carril bici.

- *Pas 3:* trobar el factor d'ajustament per a vianants  $A_{pbt}$ .

Va relacionat amb el número de carrils que realitzen el gir ( $N_{turn}$ ) i els números de carrils que reben aquest gir ( $N_{rec}$ ).

$$N_{turn} = N_{rec} \rightarrow A_{pbt} = 1 - OCC_r \quad (\text{Eq.22})$$

$$N_{turn} < N_{rec} \rightarrow A_{pbt} = 1 - 0.6 \cdot OCC_r \quad (\text{Eq.23})$$

11) Factor d'ajustament pels girs a l'esquerra de vianants i bicicletes ( $f_{Lpb}$ ):

$$f_{Rpb} = 1 - P_{LT} \cdot (1 - A_{pbt}) \cdot (1 - P_{RTA}) \quad (\text{Eq.24})$$

Es calcula exactament igual que en l'equació 17.

Un cop s'han definit correctament els factors d'ajustament el fluxos de saturació corresponents a cada carril –de la tarda- es poden veure a les Taules 10 i 11 mostrades a continuació.

El flux B, tot hi correspondre a dos carrils en el tram imminent a la intersecció, s'ha considerat de només un carril perquè a pocs metres només és d'un carril que s'acaba dividint en dos carrils però l'arribada quasi immediata segueix essent com si fos només un carril.

Taula 10. Flux de màxima saturació de la tarda. Font: elaboració pròpia.

Flux màxima saturació per a la franja de la tarda						
Flux	A	B	C	D	E (gir esq.)	E (gir dreta)
S <sub>0</sub>	1750	1750	1750	1750	1750	1750
N	1	1	2	1	1	1
f <sub>w</sub>	0,911	0,911	0,911	0,911	0,911	0,911
f <sub>HV</sub>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
f <sub>g</sub>	1	1	1	1	1	1
f <sub>p</sub>	0,895	0,9	0,95	0,9	0,9	0,9
f <sub>a</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
f <sub>bb</sub>	1	0,973	0,973	1	1	0,973
f <sub>LU</sub>	1	1	1	1	1	1
f <sub>RT</sub>	1	1	1	0,85	1	0,931
f <sub>LT</sub>	1	1	0,95	1	0,974	1
f <sub>Lpb</sub>	1	1	0,699	1	0,691	1
F <sub>Rpb</sub>	1	1	1	0,430	1	0,862
S <sub>i</sub>	<b>1271</b>	<b>1244</b>	<b>1745</b>	<b>467</b>	<b>860</b>	<b>999</b>

Taula 11. Factor d'ajustament per a la fase permesa de vianants per als moviments de gir. Font: elaboració pròpia.

Flux	A	B	C	D	E (gir esq.)	E (gir dreta)
v <sub>pedg</sub>	0,00	0,00	1009,41	1703,92	1703,92	1009,41
v <sub>ped</sub>	0	0	468	790	790	468
C	110	110	110	110	110	110
g <sub>p</sub>	49	49	51	51	51	51
OCC <sub>pedg</sub>	0	0	0,50	0,57	0,57	0,50
OCC <sub>r</sub>	0	0	0,50	0,57	0,57	0,50
N <sub>turn</sub>	1	1	2	1	1	1
N <sub>rec</sub>	2	3	3	1	1	3
A <sub>pbt</sub>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,70</b>	<b>0,43</b>	<b>0,43</b>	<b>0,70</b>

Com es pot comprovar en la Taula 10, els fluxos de saturació màxima permesos per a cada carril són inferiors al flux de saturació ideal (1750 vehicles/h/carril) degut a que hi ha moltes correccions ha aplicar per a cada condició específica.

Els fluxos de saturació màxima serveixen per poder calcular la relació de flux respecte al flux màxim equivalent pel carril més problemàtic de cada fase verda, a continuació s'explica com es calculen aquestes relacions de flux.

### 3.5.4. Relacions de flux

Les relacions de flux consisteixen en saber la proporció que se li atribueix al  $q_{m\grave{a}x}$  respecte al flux de saturació màxim calculat prèviament. Per saber aquesta proporció, es calcula amb l'equació 25.

$$\beta_i = \frac{q_{m\grave{a}x}}{S_i} \quad (\text{Eq.25})$$

On:

$\beta_i$ : relació entre el flux màxim equivalent i el flux de saturació (s).

$q_{\text{màx}} = q_{\text{ADE}}$  : vehicles directes equivalents del carril amb el màxim flux (vehicles/h).

$S_i$ : flux de saturació (vehicle/h verd/carril).

Es calcularà cada relació de flux. Actualment la intersecció té dues fases, per tant, el flux de màxima saturació més elevat per a cada fase, serà el valor a tenir en compte en els càlculs següents. A continuació es mostren a la Taula 12 les relacions de flux per la franja horària de la tarda.

**Taula 12.** Relacions de flux de la tarda. **Font:** elaboració pròpia.

$\beta_1$	0,387	<b>Flux A i B</b>
$\beta_2$	0,378	<b>Flux C, D i E</b>

### 3.5.5. Càlcul del cicle

Un cop es saben les relacions de flux, aplicant l'equació 26 es pot trobar el temps del cicle semafòric aplicant l'equació 26.

$$C_0 = \frac{1.5 \cdot L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} \beta_i} \quad (\text{Eq.26})$$

On:

$C_0$ : cicle semafòric total (s).

L: temps perdut per cicle (s).

$\varphi$ : número de fases.

**Taula 13.** Duració del cicle semafòric de la tarda. **Font:** elaboració pròpia.

C	85	segons
---	----	--------

Els temps dels cicles semafòrics són valors enters i sempre múltiples de 5, per tant, en aquest cas, el valor obtingut ja és correcte: **85 segons**.

### 3.5.6. Temps verd efectiu total ( $g_T$ )

El temps verd efectiu total ens indica quant temps està permès efectuar moviments en la intersecció. Contra més fases verdes hi hagi dins un cicle, menys temps verd efectiu hi haurà a causa del temps perdut sorgit pel canvi de fase. Aquest valor es pot calcular amb l'equació 27.

$$g_T = C - L \quad (\text{Eq.27})$$

On:

$g_T$ : temps verd efectiu total (s).

C: cicle semafòric total (s).

L: temps perdut per cicle (s).

El temps perdut en la situació actual és de 10 segons, per tant, el  $g_T$  teòric és igual a **75 segons**.

### 3.5.7. Repartiment del temps dels verds efectius ( $g_i$ )

Quan es tenen les relacions de flux i el temps de verd efectiu total, aplicant l'equació 28 es pot trobar quant de temps de verd efectiu correspon a cada fase.

$$g_i = \frac{\beta_i}{\sum \beta_i} \cdot g_T \quad (\text{Eq.28})$$

On:

$g_i$ : temps verd efectiu per fase (s).

Com es pot veure a continuació en la Taula 14, les fases verdes quasi tenen la mateixa duració – només discrepen d'un sol segon-.

Taula 14. Temps verd efectiu per la tarda. Font: elaboració pròpia.

$g_1$	38	segons
$g_2$	37	segons

### 3.5.8. Temps mínim per al pas de vianants ( $G_p$ )

Cal tenir en compte també el temps mínim que necessiten els vianants per poder creuar el pas de vianants, contra més distància hi hagi entre voreres, més temps necessitaran els vianants per travessar tots els carrils. L'equació 29 mostrada a continuació es pot saber aquest temps requerit.

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{s_p} + (0.27 \cdot N_{ped}) \quad (\text{Eq.29})$$

On:

L: longitud del pas de vianants (m).

$s_p$ : velocitat mitjana dels vianants (1.25 m/s).



$N_{ped}$ : número de vianants que creuen el pas de vianants en un sol interval (vianants/interval).

En la Figura 10 mostrada a continuació es poden veure les longituds dels passos de vianants.

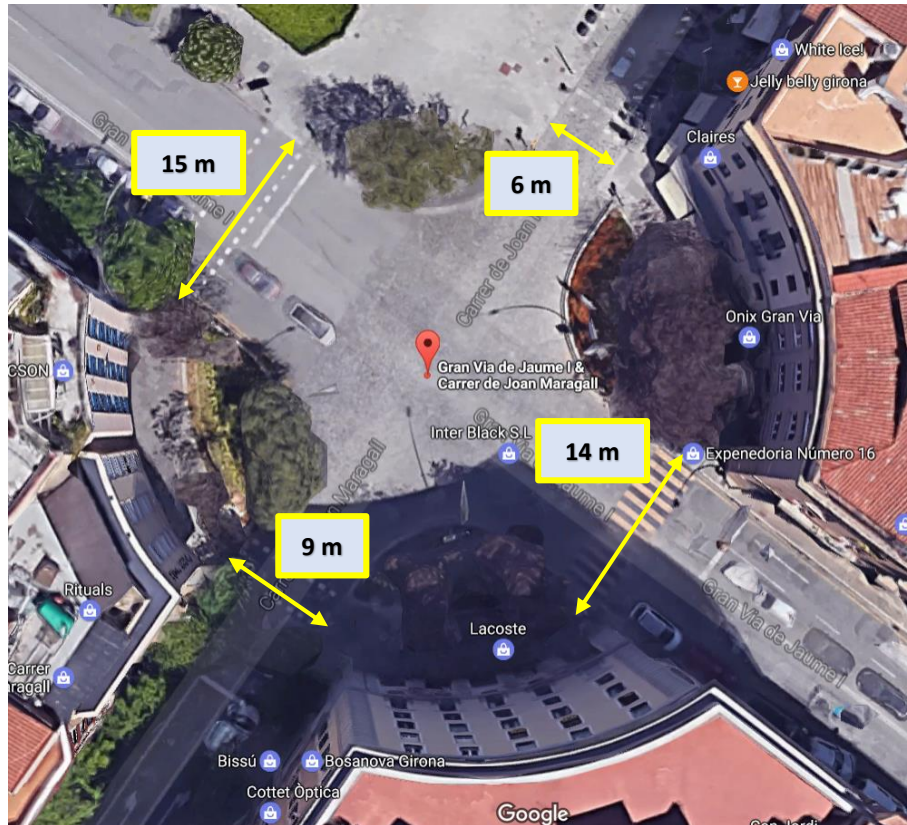


Figura 10. Longituds dels quatre passos de vianants. Font: elaboració pròpia.

### 3.6. Comparativa entre l'actualitat i els càlculs teòrics

Així doncs, després de tots aquests càlculs, en la Taula 15 que ve a continuació, es mostra la comparativa entre els valors obtinguts realitzant el treball de camp amb els que s'han calculat a partir de les equacions.

Taula 15. Comparativa temps de fase verda. Font: elaboració pròpia

segons	Actualitat	Teòric
C	110	85
g1	49	38
g2	51	37

En la situació actual el cicle semafòric és de 110 segons i el teòric surt que hauria de ser de 85 segons com a mínim. Per tant, és una bona decisió augmentar el temps del cicle –el màxim és de 120 segons per cicle-. El repartiment de les dues fases verdes que hi ha durant un cicle

mantenen una proporció molt similar però el temps teòric és inferior degut a que el temps de cicle és més petit també.

Així doncs, es pot afirmar que la situació actual està ben ajustada a partir del càlcul teòric. En aquestes condicions, no hi ha millora possible.

## 4. TEORIA DE GRAFS

En aquest capítol s'explicarà que és la teoria dels grafs i com s'aplicaran per estudiar la intersecció.

### 4.1. Introducció

Un graf es podria dir que és un diagrama que es representa gràficament com un conjunt de punts –vèrtexs- i aquests estan units per línies –arestes-. Els grafs permeten estudiar les interrelacions entre unitats que es troben en interacció.

Les aplicacions són variades; construccions de xarxes com les típiques unions entre ciutats a través de les carreteres, les línies de transport públic, també serveix per elaborar les connexions en les plaques de circuits, fluxos, etc.

### 4.2. Concepte teòric

Un graf es defineix com  $G(V, A)$  on consta d'un conjunt  $V$  d'elements anomenats vèrtexs i un conjunt  $A$  de connexions entre aquests vèrtexs anomenades arestes.

El conjunt  $V$  es representa com a punts a l'espai i s'anomena  $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$  i la unió d'aquests vèrtexs entre ells es representa amb el conjunt d'arestes  $A = \{\{1, 2\}, \{2, 3\}, \{1, n\}, \dots\}$ .

Un graf simple no pot tenir més d'una aresta entre dos vèrtex –sinó s'anomenaria multigraf-, ni tampoc pot una aresta connectar un vèrtex amb ell mateix, sorgint un llaç –llavors s'anomena pseudograf-.

A dins d'un graf  $G(V, A)$  es poden trobar subgrafs  $G'(V', A')$ . Un exemple real seria en que el graf  $G$  és la xarxa de carreteres de Catalunya i el subgraf  $G'$  seria la xarxa d'autopistes de Catalunya.

En els grafs és important saber el sentit en que recorren les arestes. En una situació real serien els carrils d'una carretera que solen ser de sentit únic, una pàgina web té un enllaç on et dirigeix a una segona pàgina web però aquesta segona web no té cap enllaç per tornar a la primera web... Aquests casos porten a la definició de graf *dirigit* –digraf-.

En el graf dirigit, cada aresta s'anomena arc i aquests arcs es poden pensar com una parella ordenada de vèrtexs –inicial i final-. Entre dos vèrtexs, només pot haver-hi dos arcs que serien els arcs  $(a, b)$  i  $(b, a)$ . Si el vèrtex  $a$  conté l'arc  $(a, a)$  significa que conté un llaç i llavors passa a dir-se *pseudograf dirigit*. Aquests arcs per saber el sentit en que van són interpretats amb una fletxa.

A la Figura 11 es pot veure un exemple de graf.

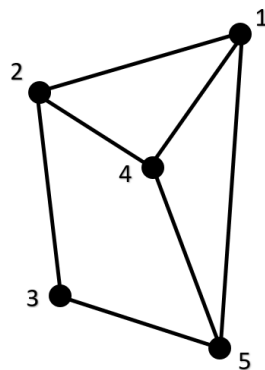


Figura 11. Graf  $G(V, A)$ . Font: elaboració pròpia.

Aquest graf està definit per:

$$V = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

$$A = \{ \{1, 2\}, \{1, 4\}, \{1, 5\}, \{2, 4\}, \{2, 3\}, \{3, 5\}, \{4, 5\} \}$$

#### 4.3. Problema del clic

Un cop definit el graf, s'ha de fer un estudi aplicant el concepte dels clics.

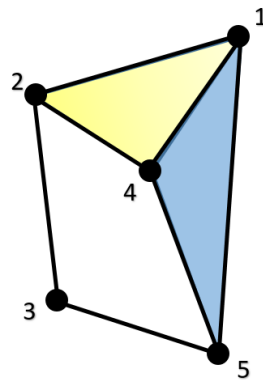
Donat un graf  $G(V, A)$ , es diu que  $G$  té un clic de dimensió  $k$  si existeix un subgraf  $G'(V', A')$  de  $G$  tal que aquest subgraf és complet –tots els vèrtex estan connectats entre ells. El problema consisteix en trobar un clic de mida màxima en un graf –subgraf complet–.

Un algorisme que s'utilitza per trobar un clic és el de la cerca per força bruta. Aquest algorisme consisteix en llistar tots els subconjunts de vèrtex  $V$  i verificar per a cada un d'ells si formen un clic.

Tots els clics de l'anterior Figura 11 són:

$S_1 = \{1\}$	$S_6 = \{1, 4\}$	$S_{11} = \{4, 5\}$ ,
$S_2 = \{2\}$	$S_7 = \{1, 5\}$	$S_{12} = \{1, 2, 4\}$
$S_3 = \{3\}$	$S_8 = \{2, 4\}$	$S_{13} = \{1, 4, 5\}$ .
$S_4 = \{4\}$ ,	$S_9 = \{2, 3\}$	
$S_5 = \{1, 2\}$	$S_{10} = \{3, 5\}$	

En la Figura 12 que es mostra a continuació és un exemple gràfic del que és un clic utilitzant el graf de la Figura 11.



*Figura 12. Clics de màxims elements diferenciats en colors. Font: elaboració pròpia.*

Els dos clics màxims són els  $S_{12}$  i  $S_{13}$  que són els que estan pintats en groc i blau respectivament..

#### 4.3.1. Problema del conjunt de cobertura

Amb el treball amb clics, hi ha el que se'n diu problema de cobertura de vèrtex i dins d'aquest problema hi ha el concepte del problema de cobertura de conjunts.

Quan un conjunt d'elements  $\{1, 2, 3, \dots, m\}$  –anomenat univers- i  $n$  conjunts on la seva unió defineix aquest univers, el problema del conjunt de cobertura consisteix en identificar el mínim número de conjunts units que formen aquest univers.

Un univers podria ser  $U = \{1, 2, 3, 4, 5\}$  corresponent als vèrtexs del graf de la Figura 11 i els seus conjunts serien les  $S_i$  definits en la Figura 12. La unió de tots aquests conjunts de  $S$  contenen tots els elements de  $U$ . Però, es pot cobrir tots aquests elements amb el menor número d'elements agafant els següents conjunts d'elements (problema d'optimització),  $S = \{\{1, 2, 4\}, \{1, 4, 5\}, \{3, 5\}\}$ . Aquest mètode de recerca de clics –conjunt d'elements- se'n diu algorisme voraç. L'algorisme voraç doncs, consisteix en fer una llista amb tots els conjunts possibles i agafar els conjunts amb major número d'elements no definits –no han passat per l'algorisme-.

En el context de la cruïlla que estem estudiant, els clics representen doncs els màxims moviments permesos dins d'aquella fase –per això es vol agafar el clic més gran-. Interessa tenir el mínim número de clics possible ja que representen el número de fases necessàries per a aquella intersecció.

Quan es tenen els fluxos que passen per la via i els clics màxims definits, el que s'ha de fer és sumar els fluxos que intervenen en aquell clic. Com ja s'ha vist en els apartats anteriors, el flux d'usuaris ve definit per les unitats vehicles –vianants- partit per hora. Quan es treballen amb els pesos dels clics, es fa el sumatori dels fluxos dels usuaris per hora i després es fa l'invers per

poder tenir com a unitats el temps partit per usuaris. Això es fa així perquè el que és vol és buscar una solució a partir del temps requerit per utilitzar la via.

Calculant a partir del mètode de l'algorisme voraç primer de tot es parteix d'una cobertura buida de  $C = 0$  i pes nul = 0. Seguidament s'agafa un conjunt  $s_m$  tal que en l'equació 30 –pes relatiu-, els resultats obtinguts de tots els conjunts amb els seus pesos corresponents, s'agafa el valor mínim.

$$Pes\ relatiu = \frac{W_m}{|\sum_{i=1}^m s_i - \sum_{iu=1}^m c_{iu}|} \quad (Eq.30)$$

On:

$W_m$ : pes del clic corresponent (s).

$\sum_{i=1}^m s_i$  : sumatori dels elements (fluxos) totals de la via (s/usuari).

$\sum_{iu=1}^m c_{iu}$  : sumatori dels elements (fluxos) que ja s'han utilitzat. (s/usuari).

El pes relatiu és el pes de tots els usuaris que tenen moviment a la vegada –clic màxim- dividit pel pes total de tots els usuaris de la via. El pes relatiu mínim serà el clic a reservar i els elements que inclouen aquest clic, en els altres clics ja no es tindran en compte a l'hora de realitzar els nous càlculs dels pesos relatius dels clics restants. Aquesta iteració es va realitzant fins que tots els elements en S ( $S = 0$ ) passen a ser elements en C ( $|C| = m$ ). Els conjunts que siguin conjunts de C seran els clics (moviments) que es podran realitzar en la intersecció.

Un cop es tenen aquests clics, es sumen els seus corresponents pesos per aconseguir el pes total de fluxos que hi ha en la intersecció com es mostra en l'equació 31.

$$W_{tce} = \sum_{i=1}^m W_i \quad (Eq.31)$$

On:

$W_{tce}$ : pes total clics escollits (s).

$W_i$ : pes del clic escollit per l'algorisme (s).

Llavors amb l'equació 32 es calculen els temps que se li adjudicaran a cada fase verda –també es podria incloure el ambre i tot vermell- corresponent al seu clic.

$$temps\ de\ fase\ verda = \frac{W_i}{W_{tce}} \quad (Eq.32)$$

A continuació (Figura 13) s'expliquen els components importants per poder calcular els clics mínims del graf de la primera iteració.

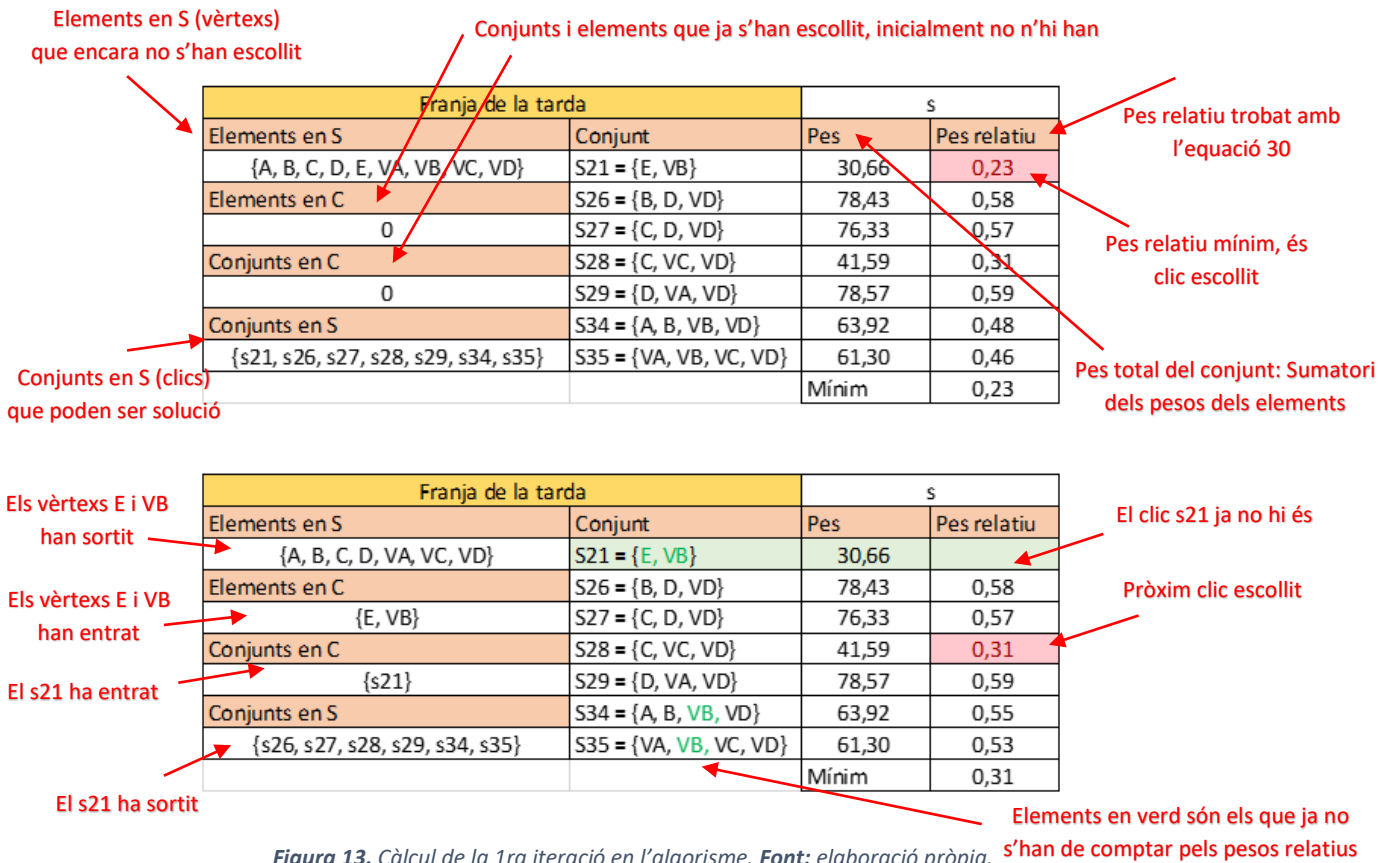


Figura 13. Càlcul de la 1ra iteració en l'algorisme. Font: elaboració pròpia.

L'algorisme s'acaba quan no queden elements en S (vèrtexs) perquè han passat a ser elements de la cobertura C.

Si es vol veure tot el procediment de l'algorisme, s'ha d'anar al capítol 6 dels annexos.

#### 4.3.2. Càlcul de fase verda a partir dels pesos dels clics

Un cop es saben els clics màxims que es necessiten per compondre el cicle semafòric s'ha de calcular el temps de fase verda –s'inclouran els temps d'ambre i tot vermell també-. Per trobar la duració de la fase verda es seguiran els passos explicats a continuació:

- Pas 1. Cada conjunt de cobertura C (clic) elegit s'haurà de saber el seu pes –en unitats de flux- i també s'ha de tenir en compte el flux més alt –que requerirà més temps-.
- Pas 2. Després s'ha de calcular la proporció. Aquesta proporció es calcula amb el flux màxim de cada clic dividit pel sumatori dels fluxos màxims de tots els clics elegits.
- Pas 3. Aquesta proporció es multiplica pel temps del cicle total actual i el valor obtingut serà el temps de fase verda.

Per entendre-ho millor amb el pas a pas i de forma numèrica, s'aconsella mirar el capítol 5.

#### 4.4. El Graf en la intersecció a estudiar

El graf de la intersecció actual seria el mostrat en la Figura 14 i a la seva dreta la representació dels fluxos recuperada de la Figura 1.

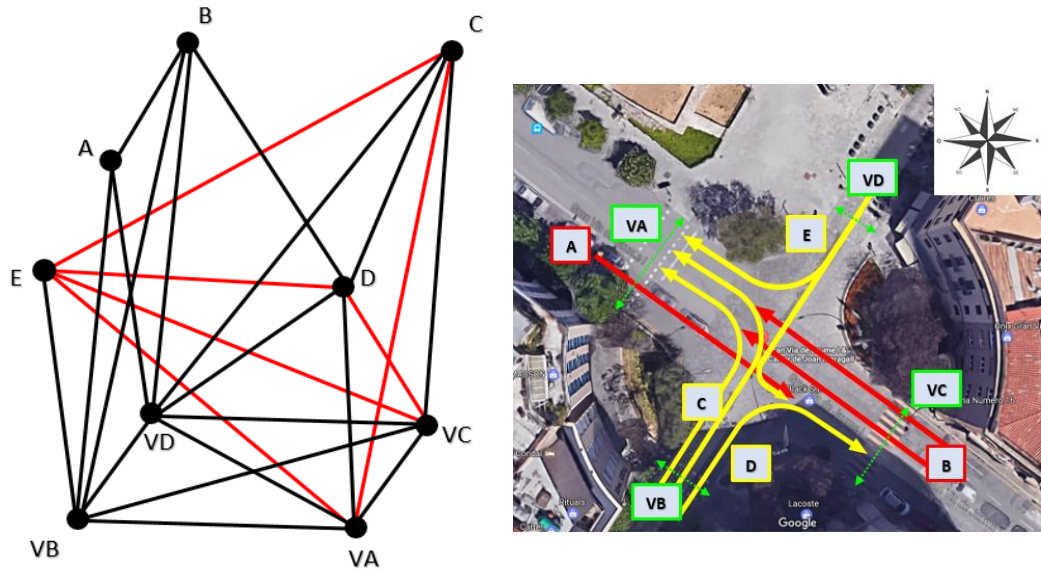


Figura 14. Graf amb els vèrtex units pels moviments que circulen a la vegada. Font: elaboració pròpia.

La circulació que segueixen els vehicles serien els vèrtex, juntament amb els passos de vianants. Les arestes en aquest cas serien les unions dels vèrtex.

Les unions en negre representen aquells moviments que circulen a la vegada però que no entren en conflicte i les unions de color vermell són els moviments on pot haver-hi conflicte entre vehicle-vehicle o vehicle-vianants. Aquestes últimes són les combinacions que s'han d'evitar per poder garantir un flux sense interrupcions.

En la Figura 15 es veu com seria el graf que sortiria de la intersecció que s'està estudiant sense cap impediment del pas.



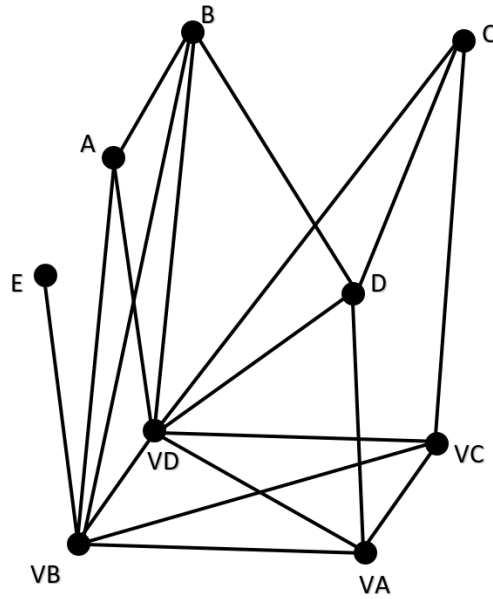


Figura 15. Exemple del graf de la intersecció a estudiar sense impediments de circulació. Font: elaboració pròpia.

Un cop realitzat el graf, de forma manual es poden extreure la llista dels clics.

- |                       |                           |                               |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| $S_1 = \{A\},$        | $S_{13} = \{B, D\},$      | $S_{25} = \{B, VB, VD\},$     |
| $S_2 = \{B\},$        | $S_{14} = \{B, VB\},$     | $S_{26} = \{B, D, VD\},$      |
| $S_3 = \{C\},$        | $S_{15} = \{B, VD\},$     | $S_{27} = \{C, D, VD\},$      |
| $S_4 = \{D\},$        | $S_{16} = \{C, D\},$      | $S_{28} = \{C, VC, VD\},$     |
| $S_5 = \{E\},$        | $S_{17} = \{C, VC\},$     | $S_{29} = \{D, VA, VD\},$     |
| $S_6 = \{VA\},$       | $S_{18} = \{C, VD\},$     | $S_{30} = \{VA, VB, VC\},$    |
| $S_7 = \{VB\},$       | $S_{19} = \{D, VA\},$     | $S_{31} = \{VA, VB, VD\},$    |
| $S_8 = \{VC\},$       | $S_{20} = \{D, VD\},$     | $S_{32} = \{VA, VC, VD\},$    |
| $S_9 = \{VD\},$       | $S_{21} = \{E, VB\},$     | $S_{33} = \{VB, VC, VD\},$    |
| $S_{10} = \{A, B\},$  | $S_{22} = \{A, B, VB\},$  | $S_{34} = \{A, B, VB, VD\},$  |
| $S_{11} = \{A, VB\},$ | $S_{23} = \{A, B, VD\},$  | $S_{35} = \{VA, VB, VC, VD\}$ |
| $S_{12} = \{A, VD\},$ | $S_{24} = \{A, VB, VD\},$ |                               |

### 5. ESTUDI DE LA INTERSECCIÓ AMB SEMÀFORS

En aquest capítol s'explicaran la situació actual dels semàfors, el càlcul teòric i les alternatives a valorar en la intersecció aplicant la teoria dels grafs.

#### 5.1. Situació actual

La situació que hi ha simulada actualment és la d'una intersecció amb dues fases, fet que produeix un conflicte de moviments entre els fluxos C-D-E i els passos de vianants VA i VC.

Per saber el cicle semafòric que hi ha actualment en funcionament el que s'ha fet és cronometrar els temps del vermell, ambre i verd de les dues vies de l'encreuament i els temps obtinguts són els mostrats a la Taula 16.

Taula 16. Temps en segons per a cada fase del cicle. Font: elaboració pròpia.

Semàfor	Joan Maragall	s					MITJANA	ARRODONIMENT
1-2-5-6	Vermell	56,23	55,86	56,05	55,9	55,46	55,90	56
	Ambre	2,91	2,8	2,96	2,79	2,6	2,81	3
	Verd	51,19	51,14	51,09	51,29	51,22	51,19	51
							109,90	110
	Tot vermell	2,18	1,96	1,96	2,09	2,12	2,062	2
3-4-7-8	G.V. Jaume I	s					MITJANA	ARRODONIMENT
	Vermell	58,41	57,86	58,68	58,18	58,3	58,29	58
	Ambre	2,39	2,96	2,92	2,63	2,76	2,73	3
	Verd	49,07	49,21	49,09	49,03	49,08	49,10	49
							110,11	110

Com es pot veure, el temps del cicle semafòric dura 110 segons. Els semàfors encarregats de regular la seva via coincideixen amb l'altra via, això és crucial perquè si hi hagués un desfasament entre ells, a la llarga acabarien tenint un solapament de fases del mateix color.

La representació de la intersecció amb semàfors és la que es pot observar a continuació en la Figura 16 (a i b) i la Figura 17 és el cicle semafòric dels vehicles.

Grup\Fase		1	a	b	2	a	b
1		V	A	R	R	R	R
2		V	A	R	R	R	R
3		R	R	R	V	A	R
4		R	R	R	V	A	R
5		V	A	R	R	R	R
6		V	A	R	R	R	R
7		R	R	R	V	A	R
8		R	R	R	V	A	R

Grups		
1		Carrer Joan Maragall SO girs esquerra i dreta
2		Carrer Joan Maragall NE girs esquerra i dreta
3		Gran Via de Jaume I NO recta
4		Gran Via de Jaume I SE recta
5		Pas vianants c/Joan Maragall SO
6		Pas de vianants c/Joan Maragall NE
7		Pas de vianants Gran Via de Jaume I NO
8		Pas de vianants Gran Via de Jaume I SE

Figura 16. Fases semafòriques (a) i carril del semàfor (b). Font: elaboració pròpia.

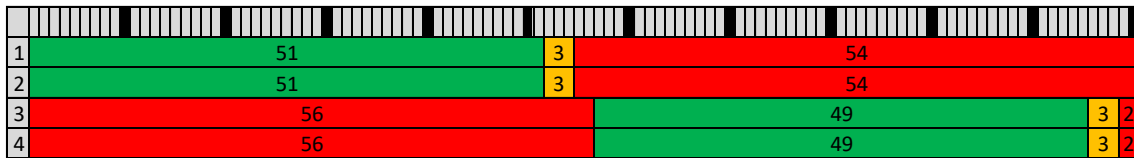


Figura 17. Cicle semafòric actual. Font: elaboració pròpia.

La part superior de la Figura 17 i està dividida per franges que equivalen a un segon i cada franja negra equival a 10 segons fins al temps final de cicle que és de 110 segons.

### 5.2. Càlcul de les fases verdes aplicant les fórmules

Les interseccions tenen un gran plantejament, estudi i modelització darrere abans de posar-ho en pràctica. En la situació real és on realment es veurà si funciona o si s'haurà de realitzar alguna modificació per millorar el sistema.

Per calcular el cicle i les fases verdes dels semàfors s'aplicaran les equacions descrites en el capítol 3.

Els temps del cicle i de fase verda que surten a partir de les equacions es poden veure a la Taula 17 (a) i (b) que es mostra a continuació.

Taula 17. Cicles i temps de fase verda per la franja horària migdia (a) i tarda (b). Font: elaboració pròpia.

Variable	Value	Unit
C	55	segons
g1	24	segons
g2	21	segons

(a)

Variable	Value	Unit
C	85	segons
g1	38	segons
g2	37	segons

(b)

Els resultats que donen són bastant diferents entre la franja horària del migdia i la de la tarda degut a la discrepància entre els fluxos equivalents de les dues franges horàries.

El cicle semafòric del migdia té una duració de 55 segons, això equival a la meitat del cicle actual.

El cicle semafòric de la tarda té una duració de 85 segons –és 25 segons inferior al cicle actual-.

La proporció entre les dues fases verdes és quasi idèntica, com en l'actualitat.

### 5.3. Càlcul del temps verds aplicant el graf en l'actualitat

L'estudi s'ha realitzat a partir de les dades obtingudes a la tarda ja que són les que tenen un flux més elevat i en l'apartat anterior ja s'ha vist que el temps de cicle no és idoni per a una situació real.

La situació actual de la intersecció esta composta de dues fases verdes però amb conflictes de moviments que poden provocar col·lisions. En el graf representat en la Figura 14 –mostrada en

el capítol anterior, apartat 4.4-, els subconjunts (clics) que representen les dues fases de moviments simultanis són:

$$S_1: \{A, B, VB, VD\}$$

$$S_2: \{C, D, E, VA, VC\}$$

Per saber aquest valor s'han de sumar els fluxos màxims -fluxos vehicles equivalents, Taula 7- de cada clic. El flux màxim total és:

$$492 + 790 = 1282 \frac{\text{usuaris}}{h}$$

La proporció del flux per a cada clic:

$$S_1 = \frac{492}{1282} = 0.38$$

$$S_2 = \frac{790}{1282} = 0.62$$

Si es calculen els temps de fase verda seguint els criteris explicats en el Capítol 4 surten els temps següents:

$$S_1 = 0.38 \cdot 110 = 41.8 \approx 42 \text{ s}$$

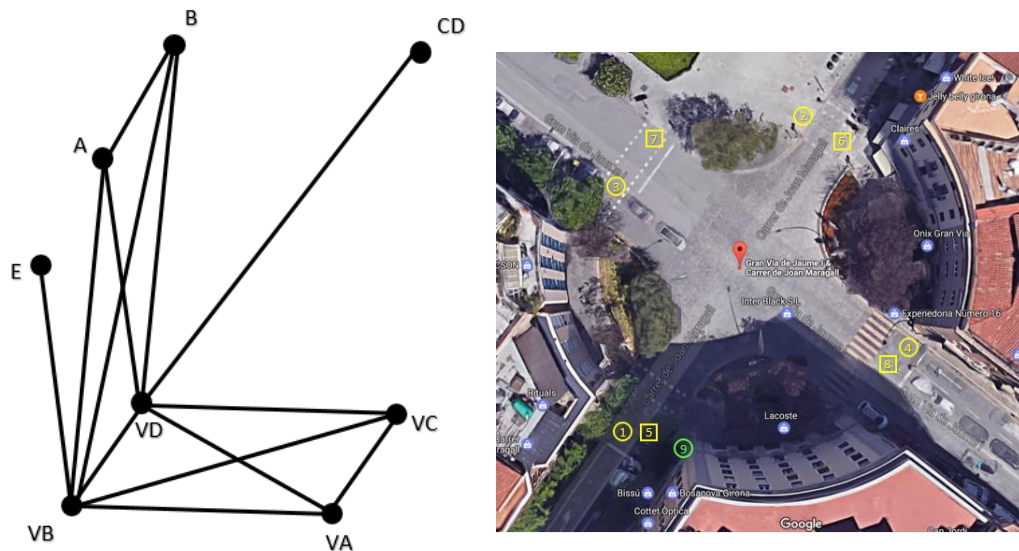
$$S_2 = 0.62 \cdot 110 = 68.2 \approx 68 \text{ s}$$

Les fases verdes del cicle que funciona actualment no tenen quasi diferència de temps (51 i 49 segons respectivament), en canvi, amb el mètode utilitzat surt que la fase 2 necessita més temps que la fase 1 i amb una diferència de 26 segons l'una respecte de l'altra.

#### 5.4. Alternativa Graf1 amb grups de carrils per a les 4 zones de la via

A partir dels grafs, es poden elaborar fases de moviments diferents a l'actual per poder estudiar quines són les condicions més favorables per permetre una bona circulació en la intersecció.

El graf que representa aquesta alternativa és la mostrada a continuació per la Figura 18.



**Figura 18.** Graf sense impediments de circulació on els fluxos estan agrupats per les quatre zones de la via. **Font:** elaboració pròpia.

La figura al costat del graf és un recordatori de la Figura 5 (apartat 3.3.1) on es mostren els números corresponents pels semàfors de la via.

Un cop realitzat el graf, de forma manual es poden extreure la llista dels clics.

- |                   |                           |                               |
|-------------------|---------------------------|-------------------------------|
| $S_1 = \{A\},$    | $S_{10} = \{A, VB\},$     | $S_{19} = \{B, VB, VD\},$     |
| $S_2 = \{B\},$    | $S_{11} = \{A, VD\},$     | $S_{20} = \{VA, VB, VC\},$    |
| $S_3 = \{CD\},$   | $S_{12} = \{B, VB\},$     | $S_{21} = \{VA, VB, VD\},$    |
| $S_4 = \{E\},$    | $S_{13} = \{B, VD\},$     | $S_{22} = \{VA, VC, VD\},$    |
| $S_5 = \{VA\},$   | $S_{14} = \{CD, VD\},$    | $S_{23} = \{VB, VC, VD\},$    |
| $S_6 = \{VB\},$   | $S_{15} = \{E, VB\},$     | $S_{24} = \{A, B, VB, VD\},$  |
| $S_7 = \{VC\},$   | $S_{16} = \{A, B, VB\},$  | $S_{25} = \{VA, VB, VC, VD\}$ |
| $S_8 = \{VD\},$   | $S_{17} = \{A, B, VD\},$  |                               |
| $S_9 = \{A, B\},$ | $S_{18} = \{A, VB, VD\},$ |                               |

Fent ús del concepte dels clics, s'agafen els clics que contenen més elements fins que tots els elements del graf estan coberts en algun clic. En aquest cas, els clics escollits són:

- |                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| $S_{25} = \{VA, VB, VC, VD\}$ | $S_{14} = \{CD, VD\},$ |
| $S_{24} = \{A, B, VB, VD\},$  | $S_{15} = \{E, VB\}$   |

**5.4.1. Alternativa Graf1.1**

En aquest cas no cal aplicar l'algorisme perquè els quatre clics són el mínim de clics necessaris per cobrir tots els moviments. A continuació, en la Figura 19 es pot observar com quedaria la representació de la intersecció.

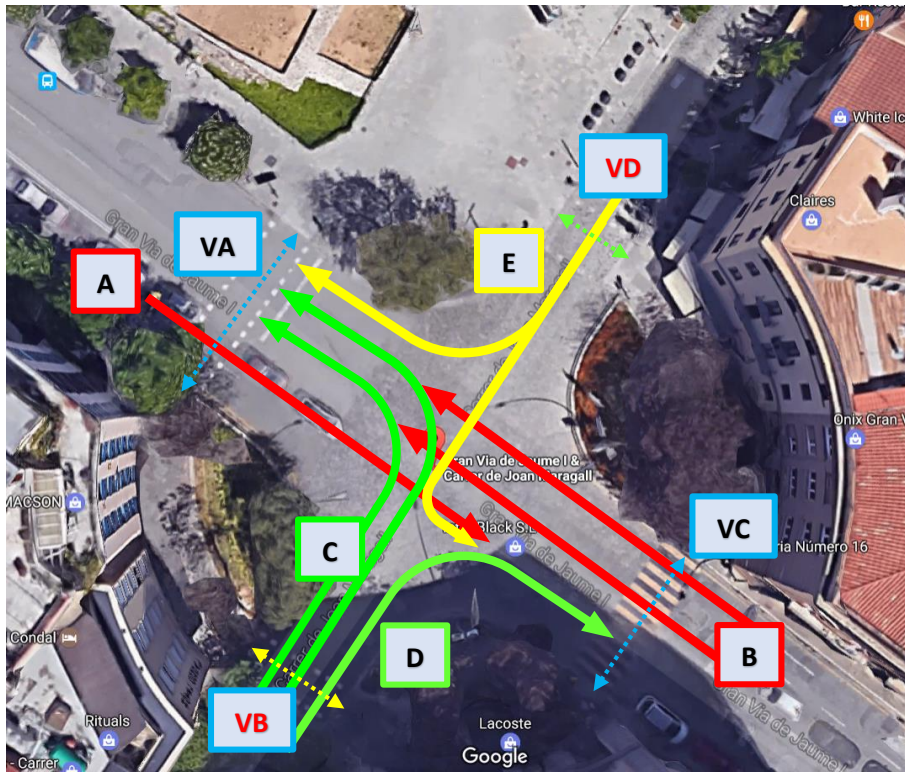


Figura 19. Fluxos alternativa Graf1.1 Font: elaboració pròpia.

Un cop es sap la distribució dels fluxos s'han de realitzar els càlculs necessaris per trobar la duració de les fases verdes per a cada moviment realitzat a la intersecció.

La Taula 18 mostrada a continuació mostra els fluxos (usuaris/h) de cada element del clic.

Taula 18. Pesos clics franja de la tarda alterativa Graf1. Font: elaboració pròpia.

	Pesos clics franja de la tarda								Total
	vehicles/h				vianants/h				
	A	B	CD	E	VA	VB	VC	VD	
W14			752					114	36,37
W15				273		206			30,66
W24	492	476				206		114	63,92
W25					468	206	790	114	61,30

El flux màxim total és:

$$752 + 273 + 492 + 790 = 2307 \frac{\text{usuaris}}{h}$$

Per saber la proporció de pes en cada  $C = \{s_{14}, s_{15}, s_{24}, s_{25}\}$ , s'ha d'agafar el flux més alt i es divideix pel sumatori dels fluxos més elevat en cada clic, i els resultats obtinguts són:

$$s_{14} = \frac{752}{2307} = 0.33$$

$$s_{15} = \frac{273}{2307} = 0.12$$

$$s_{24} = \frac{492}{2307} = 0.21$$

$$s_{25} = \frac{790}{2307} = 0.34$$

Mantenint la durada del cicle semafòric actual, les distribucions de cada fase verda són:

$$\text{flux en verd: } s_{14} \rightarrow 0.33 \cdot 110 = 36.3 \approx 37 \text{ s}$$

$$\text{flux en groc: } s_{15} \rightarrow 0.12 \cdot 110 = 13.2 \approx 13 \text{ s}$$

$$\text{flux en vermell: } s_{24} \rightarrow 0.21 \cdot 110 = 23.1 \approx 23 \text{ s}$$

$$\text{flux en blau: } s_{25} \rightarrow 0.34 \cdot 110 = 37.4 \approx 37 \text{ s}$$

Observant els temps proposats, destaca que els vianants VC i VA –són els que tenen el flux més alt-, només tenen un flux blau, això clarament és degut a que tots els moviments dels vehicles passen per aquests passos de vianants, i en conseqüència, en un cicle de quatre fases verdes, és inevitable que només se li adjudiqui una sola fase –en l'actualitat, el pas de vianants VC és el més conflictiu-. Per això, són els que tenen el temps més elevat.

Amb aquesta alternativa Graf1 en la Figura 20 s'observen les fases semafòriques i el cicle semafòric que surt és la mostrada en la Figura 21:

Grup\Fase		1	a	b	2	a	b	3	a	b	4	a	b
1		R	R	R	V	A	R	R	R	R	R	R	R
2		V	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
3		R	R	R	R	R	R	R	R	R	V	A	R
4		R	R	R	R	R	R	R	R	R	V	A	R
5		R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R
6		R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R
7		R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R
8		R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R

Figura 20. Fases semafòriques alternativa 1.2.graf. Font: elaboració pròpia.

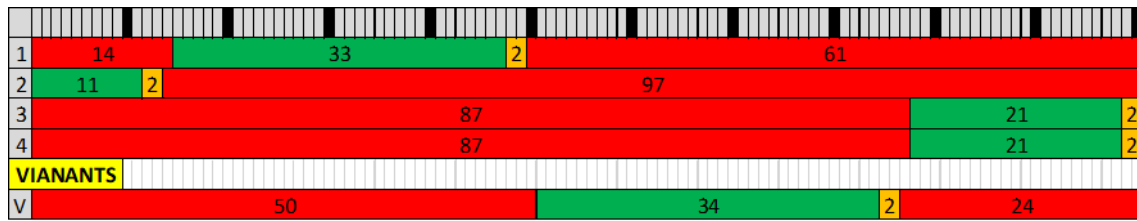


Figura 21. Cicle semafòric alternativa Graf1.1. Font: elaboració pròpia.

El flux VC correspon al pas de vianants que genera més flux d'usuaris, per això el temps necessari per realitzar aquesta circulació és el més gran.

El problema de realitzar un cicle amb quatre fases independents és que genera molt de temps perdut pel canvi de fase. S'han tret 2 segons del temps trobats per fer-lo servir com a fase ambre i un segon dedicat a tot el vermell, encara que amb aquests sistema, el temps per buidar la cruïlla no hauria de ser tant necessari com en l'actualitat perquè no hi haurien d'haver tantes acumulacions de cotxes al mig de la intersecció.

També el fet d'esperar-se fins a un màxim de quasi 100 segons, fa que l'usuari es pugui molestar i posar nerviós.

#### 5.4.2. Alternativa Graf1.2

Una alternativa derivada de la ja trobada seria ajuntar els fluxos groc i verd en una mateixa fase del semàfor. En aquest cas hi hauria un sol moviment en conflicte que seria entre el gir a la dreta del flux D i el gir a l'esquerra del flux E però al no ser interromput pel pas de vianants, la fluïdesa seria millor que l'actual. El flux a la cruïlla quedaria representat en la Figura 22.



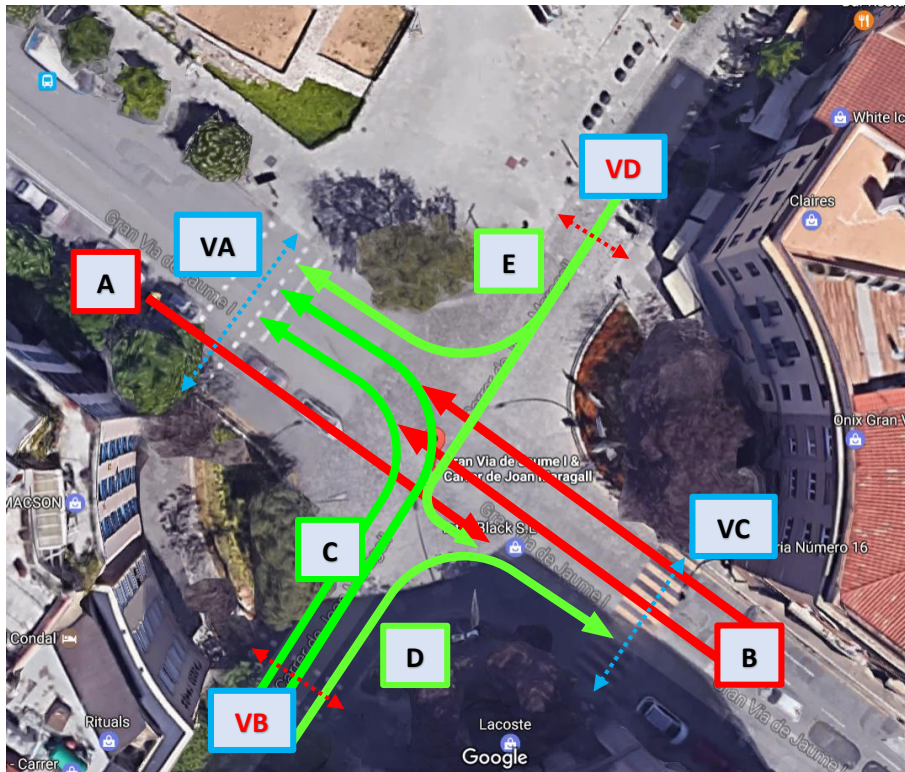


Figura 22. Fluxos alternativa Graf1.2. Font: elaboració pròpia.

El flux màxim total és:

$$752 + 492 + 790 = 2034 \frac{\text{usuaris}}{h}$$

Les proporcions de pes en cada C = {s<sub>14</sub>, s<sub>24</sub>, s<sub>25</sub>} són:

$$s_{14} = \frac{752}{2034} = 0.37$$

$$s_{24} = \frac{492}{2034} = 0.24$$

$$s_{25} = \frac{790}{2034} = 0.39$$

La durada per a cada fase de circulació pels tres moviments a realitzar seria:

$$\text{flux en verd: } s_{14} + s_{15} \rightarrow 0.37 \cdot 110 = 40.7 \approx 41 \text{ s}$$

$$\text{flux en vermell: } s_{24} \rightarrow 0.24 \cdot 110 = 26.4 \approx 26 \text{ s}$$

$$\text{flux en blau: } s_{25} \rightarrow 0.39 \cdot 110 = 42.9 \approx 43 \text{ s}$$

Amb aquestes modificacions, surten les fases semafòriques de la Figura 23 i el diagrama del cicle semafòric de la figura 24.

Grup\Fase		1	a	b	2	a	b	3	a	b
1		V	A	R	R	R	R	R	R	R
2		V	A	R	R	R	R	R	R	R
3		R	R	R	R	R	R	R	A	R
4		R	R	R	R	R	R	R	A	R
5		R	R	R	V	A	R	R	R	R
6		R	R	R	V	A	R	R	R	R
7		R	R	R	R	A	R	R	R	R
8		R	R	R	R	A	R	R	R	R

Figura 23. Fases semafòriques alternativa Graf1.2. Font: elaboració pròpia.

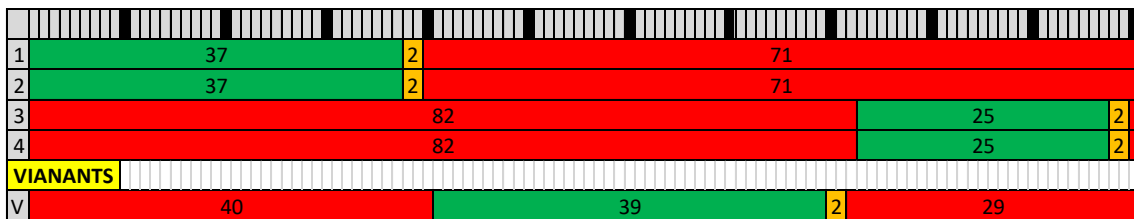


Figura 24. Cicle semafòric alternativa Graf1.2. Font: elaboració pròpia.

En aquest cas, al ser un cicle de tres fases semafòriques ben diferenciades, el temps perdut es pot equilibrar una mica més i s'ha optat per donar 2 segons d'ambre i un de tot vermell escurçant els temps del flux verd i blau perquè són els que tenen més temps.

### 5.4.3. Alternativa Graf1.3

Aquesta alternativa és la mateixa que l'alternativa Graf1.2 però amb la diferència que al tenir una fase verda on tots els vianants circulen a la vegada, aquesta es pot modificar seguint el criteri del temps mínim de fase verda pels vianants explicat en l'apartat 3.5.8.

En la Taula 19 que s'observa a continuació es veuen els temps mínims necessaris per poder creuar el pas de vianants i interessa agafar el temps més elevat dintre dels quatre fluxos existents.

Taula 19. Temps mínims verd per als vianants per la tarda. Font: elaboració pròpia.

Temps mínim verd per als vianants per la tarda		
G <sub>P</sub> (VA)	19	segons
G <sub>P</sub> (VB)	12	segons
G <sub>P</sub> (VC)	21	segons
G <sub>P</sub> (VD)	9	segons

Es podrien provar de donar al flux de vianants 25 segons i els segons restants (18 segons) es poden repartir en 12 segons pels temps de canvi de fase iguals al actual –ambre 3 segons i 1 pel tot vermell- i els segons restants repartir-los equitativament (3 segons) als altres dos fluxos.

$$\text{flux en verd: } s_{14} + s_{15} \rightarrow 44 \text{ s}$$

$$\text{flux en vermell: } s_{24} \rightarrow 29 \text{ s}$$

$$\text{flux en blau: } s_{25} \rightarrow 25 \text{ s}$$

Les fases semafòriques són les mateixes que en l'alternativa anterior (Figura 23) i el diagrama del cicle semafòric que sortirà amb aquesta modificació es veu a la Figura 25.

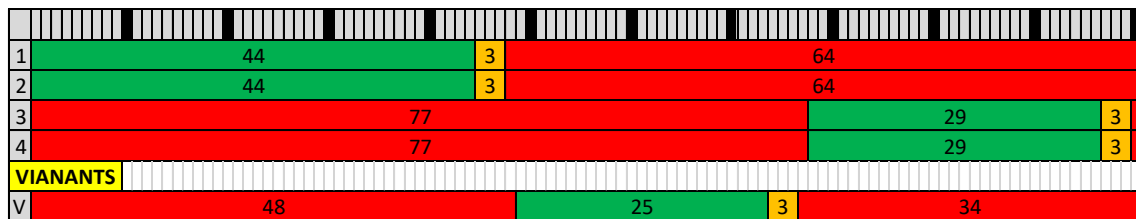


Figura 25. Cicle semafòric alternativa Graf1.3. Font: elaboració pròpia.

### 5.5. Alternativa Graf2 amb fluxos totalment independents

En aquesta alternativa s'utilitza el graf mostrat en la Figura 15 de l'apartat 4.4.

Un cop realitzat el graf, de forma manual es poden extreure la llista dels clics.

- |                       |                           |                               |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| $S_1 = \{A\},$        | $S_{13} = \{B, D\},$      | $S_{25} = \{B, VB, VD\},$     |
| $S_2 = \{B\},$        | $S_{14} = \{B, VB\},$     | $S_{26} = \{B, D, VD\},$      |
| $S_3 = \{C\},$        | $S_{15} = \{B, VD\},$     | $S_{27} = \{C, D, VD\},$      |
| $S_4 = \{D\},$        | $S_{16} = \{C, D\},$      | $S_{28} = \{C, VC, VD\},$     |
| $S_5 = \{E\},$        | $S_{17} = \{C, VC\},$     | $S_{29} = \{D, VA, VD\},$     |
| $S_6 = \{VA\},$       | $S_{18} = \{C, VD\},$     | $S_{30} = \{VA, VB, VC\},$    |
| $S_7 = \{VB\},$       | $S_{19} = \{D, VA\},$     | $S_{31} = \{VA, VB, VD\},$    |
| $S_8 = \{VC\},$       | $S_{20} = \{D, VD\},$     | $S_{32} = \{VA, VC, VD\},$    |
| $S_9 = \{VD\},$       | $S_{21} = \{E, VB\},$     | $S_{33} = \{VB, VC, VD\},$    |
| $S_{10} = \{A, B\},$  | $S_{22} = \{A, B, VB\},$  | $S_{34} = \{A, B, VB, VD\},$  |
| $S_{11} = \{A, VB\},$ | $S_{23} = \{A, B, VD\},$  | $S_{35} = \{VA, VB, VC, VD\}$ |
| $S_{12} = \{A, VD\},$ | $S_{24} = \{A, VB, VD\},$ |                               |

Clics màxims:

$$S_{35} = \{VA, VB, VC, VD\}$$

$$S_{28} = \{C, VC, VD\},$$

$$S_{21} = \{E, VB\}$$

$$S_{34} = \{A, B, VB, VD\},$$

$$S_{27} = \{C, D, VD\},$$

$$S_{29} = \{D, VA, VD\},$$

$$S_{26} = \{B, D, VD\},$$

En aquest cas, hi ha masses clics potencials per ser una solució, per tant, aquí sí que és necessari aplicar l'algorisme explicat al capítol 4.

La Taula 20 mostrada a continuació mostra els fluxos (usuaris/h) de cada element del clic.

*Taula 20. Pesos clics franja de la tarda alternativa Graf2. Font: elaboració pròpia.*

	Pesos clics franja de la tarda									
	vehicles/h					vianants/h				s/usuari
	A	B	C	D	E	VA	VB	VC	VD	Total
W21					273		206			<b>30,66</b>
W26		476		92					114	<b>78,43</b>
W27			660	92					114	<b>76,33</b>
W28			660					790	114	<b>41,59</b>
W29				92		468			114	<b>78,57</b>
W34	492	476					206		114	<b>63,92</b>
W35						468	206	790	114	<b>61,30</b>
Flux	492	476	660	92	273	468	206	790	114	<b>3572</b>
										usuaris/h

La Taula 21 són els pesos de cada flux de la via però les unitats són segons partit per usuari. Serviran per calcular el pes relatiu en l'algorisme.

*Taula 21. Pesos dels fluxos en segons partit per usuari. Font: elaboració pròpia.*

	s/usuari
A	7,31
B	7,56
C	5,45
D	39,30
E	13,18
VA	7,69
VB	17,48
VC	4,56
VD	31,58
TOTAL	<b>134,11</b>

A continuació, amb les Taules 22-26 es pot veure el pas a pas de com es van escollint els clics necessaris.

Inicialment no s'ha escollit cap clic –conjunts de la cobertura C nul- i tampoc hi ha elements de la cobertura C.

Per trobar els valors dels pesos relatius s'ha dividit el pes total de cada conjunt S (clic potencial) per el pes total de tots els fluxos que intervenen en la intersecció. Un càlcul d'exemple seria:

$$S_{21} = \{E, VB\} = 13.18 + 17.48 = 30.66 \text{ segons}$$

$$\text{Pes relatiu} = \frac{S_{21}}{\text{total pes dels fluxos}} = \frac{30.66}{134.11} = 0.2286 \approx 0.23 \text{ s.}$$

Quan es tenen tots els pesos relatius, s'ha d'agafar el valor més petit i el seu clic corresponent serà l'escollit per tenir en compte a l'hora de buscar la millor solució.

**Taula 22.** Taula inicial de l'algorisme. **Font:** elaboració pròpia.

Franja de la tarda		s	
Elements en S	Conjunt	Pes	Pes relatiu
{A, B, C, D, E, VA, VB, VC, VD}	S21 = {E, VB}	30,66	0,23
Elements en C	S26 = {B, D, VD}	78,43	0,58
0	S27 = {C, D, VD}	76,33	0,57
Conjunts en C	S28 = {C, VC, VD}	41,59	0,31
0	S29 = {D, VA, VD}	78,57	0,59
Conjunts en S	S34 = {A, B, VB, VD}	63,92	0,48
{s21, s26, s27, s28, s29, s34, s35}	S35 = {VA, VB, VC, VD}	61,30	0,46
		Mínim	0,23

En la Taula 23 es pot veure com els elements en C són E i VB i el conjunt en C és el clic s21.

Els clics que continguin algun dels elements en C que ja han estat separats, estan marcats en verd per saber que aquell clic té un element ja extret. Els pesos de cada clic no varien però si que ho fa el pes total dels fluxos que intervenen a la intersecció.

Així doncs, el següent càlcul dels pesos relatius en aquesta iteració per exemple seria:

$$S_{34} = \{A, B, VB, VD\} = 7.31 + 7.56 + 17.48 + 31.58 = 63.92 \text{ segons}$$

$$\text{Pes relatiu} = \frac{S_{34}}{\text{total pes dels fluxos}} = \frac{63.92}{134.11 - 17.48} = 0.548 \approx 0.55 \text{ s.}$$

Com es pot comprovar, al denominador se li ha restat el pes de VB perquè el clic S34 el conté. No s'ha restat el pes de l'element E perquè al no aparèixer en cap més clic no influeix en el mínim pes relatiu a esbrinar.

*Taula 23. Taula de la 1ra iteració. Font: elaboració pròpia.*

Franja de la tarda		s	
Elements en S	Conjunt	Pes	Pes relatiu
{A, B, C, D, VA, VC, VD}	S21 = {E, VB}	30,66	
Elements en C	S26 = {B, D, VD}	78,43	0,58
{E, VB}	S27 = {C, D, VD}	76,33	0,57
Conjunts en C	S28 = {C, VC, VD}	41,59	0,31
{s21}	S29 = {D, VA, VD}	78,57	0,59
Conjunts en S	S34 = {A, B, VB, VD}	63,92	0,55
{s26, s27, s28, s29, s34, s35}	S35 = {VA, VB, VC, VD}	61,30	0,53
		Mínim	0,31

Fent tots aquests càlculs es van treien els clics amb un temps mínim.

*Taula 24. Taula de la 2na iteració. Font: elaboració pròpia.*

Franja de la tarda		s	
Elements en S	Conjunt	Pes	Pes relatiu
{A, B, D, VA}	S21 = {E, VB}	30,66	
Elements en C	S26 = {B, D, VD}	78,43	0,77
{C, E, VB, VC, VD}	S27 = {C, D, VD}	76,33	0,79
Conjunts en C	S28 = {C, VC, VD}	41,59	
{s21, s28}	S29 = {D, VA, VD}	78,57	0,59
Conjunts en S	S34 = {A, B, VB, VD}	63,92	0,75
{s26, s27, s29, s34, s35}	S35 = {VA, VB, VC, VD}	61,30	0,76
		Mínim	0,59

*Taula 25. Taula de la 3ra iteració. Font: elaboració pròpia.*

Franja de la tarda		s	
Elements en S	Conjunt	Pes	Pes relatiu
{A, B}	S21 = {E, VB}	30,66	
Elements en C	S26 = {B, D, VD}	78,43	1,24
{C, D, E, VA, VB, VC, VD}	S27 = {C, D, VD}	76,33	infinít
Conjunts en C	S28 = {C, VC, VD}	41,59	
{s21, s28, s29}	S29 = {D, VA, VD}	78,57	
Conjunts en S	S34 = {A, B, VB, VD}	63,92	0,75
{s26, s27, s34, s35}	S35 = {VA, VB, VC, VD}	61,30	infinít
		Mínim	0,75

Taula 26. Taula de la 4rta iteració. Font: elaboració pròpia.

Franja de la tarda		s	
Elements en S	Conjunt	Pes	Pes relatiu
0	S21 = {E, VB}	30,66	
Elements en C	S26 = {B, D, VD}	78,43	infinít
{A, B, C, D, E, VA, VB, VC, VD}	S27 = {C, D, VD}	76,33	infinít
Conjunts en C	S28 = {C, VC, VD}	41,59	
{s21, s28, s29, s34}	S29 = {D, VA, VD}	78,57	
Conjunts en S	S34 = {A, B, VB, VD}	63,92	
{s26, s27, s35}	S35 = {VA, VB, VC, VD}	61,30	infinít
		Mínim	0,00

L'algorisme finalitza quan tots els elements en S han passat a ser elements de la cobertura en C.

Els clics escollits a partir de l'algorisme són:

$$S_{34} = \{A, B, VB, VD\},$$

$$S_{28} = \{C, VC, VD\},$$

$$S_{29} = \{D, VA, VD\},$$

$$S_{21} = \{E, VB\}$$

### 5.5.1. Alternativa Graf2.1

Un cop aplicat l'algorisme voraç els resultats obtinguts demostren que la millor possibilitat en front a col·lisions seria fer un cicle semafòric de quatre fases. D'aquesta manera es pot garantir que si els usuaris de la via compleixen les normes i no creuen quan no toca, ningú té la possibilitat de causar un accident o retenció per conflicte de moviments.

En la Figura 26 següent es pot veure en diferents colors les quatre fases que representarien els diferents moviments en la franja horària de la tarda.

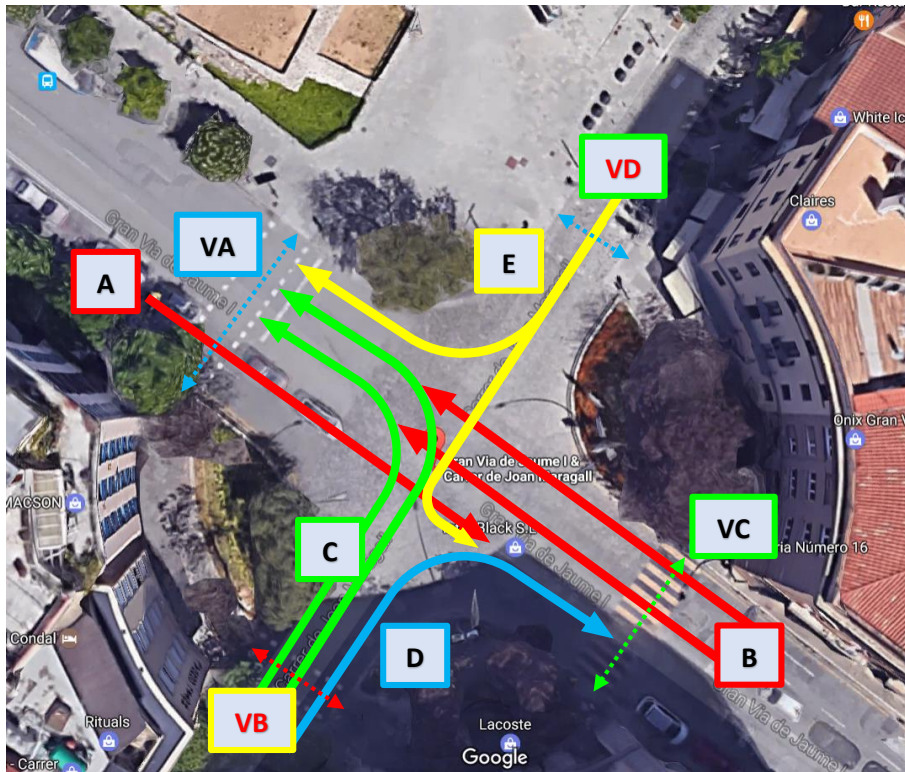


Figura 26. Fluxos alternativa Graf2.1. Font: elaboració pròpia.

El flux màxim total és:

$$273 + 790 + 468 + 492 = 2023 \frac{\text{usuaris}}{h}$$

Les proporcions de pes en cada C = {s<sub>21</sub>, s<sub>28</sub>, s<sub>29</sub>, s<sub>34</sub>} són:.

$$s_{21} = \frac{273}{2023} = 0.14$$

$$s_{28} = \frac{790}{2023} = 0.39$$

$$s_{29} = \frac{468}{2023} = 0.23$$

$$s_{34} = \frac{492}{2023} = 0.24$$

La durada per a cada fase de circulació pels quatre moviments a realitzar són:

$$\text{flux en groc: } s_{21} \rightarrow 0.14 \cdot 110 = 15.4 \approx 15 \text{ s}$$

$$\text{flux en verd: } s_{28} \rightarrow 0.39 \cdot 110 = 42.9 \approx 43 \text{ s}$$

$$\text{flux en blau: } s_{29} \rightarrow 0.23 \cdot 110 = 25.3 \approx 25 \text{ s}$$



$$\text{flux en vermell: } s_{34} \rightarrow 0.24 \cdot 110 = 26.4 \approx 27 \text{ s}$$

Amb aquesta alternativa Graf2.1 les fases semafòriques es mostren en la Figura 27 i el cicle semafòric la figura 28 següent:

Grup\Fase		1	a	b	2	a	b	3	a	b	4	a	b
1		R	R	R	V	A	R	R	R	R	R	R	R
2		V	A	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
3		R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R
4		R	R	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R
5		V	A	R	R	R	R	V	A	R	R	R	R
6		R	R	R	V	V	V	V	V	V	V	A	R
7		R	R	R	R	R	R	R	R	R	V	A	R
8		R	R	R	V	A	R	R	R	R	R	R	R
9		R	R	R	R	R	R	R	R	R	V	A	R

Figura 27. Fases semafòriques alternativa Graf2.1. Font: elaboració pròpia.

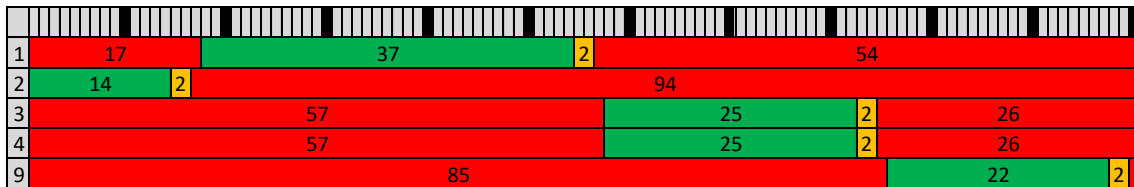


Figura 28. Cicle semafòric alternativa Graf2.1. Font: elaboració pròpia.

En aquest cas s'ha reduït el temps del semàfor número 1 per compensar els temps perduts entre fase.

Com en l'alternativa anterior -Graf1.1-, hi ha problemes en els temps perduts. 94 segons –poc més de minut i mig-, és un gran temps d'espera i això pot provocar un malestar als usuaris encara que sigui una via poc concorreguda.

### 5.5.2. Alternativa Graf2.2

Es podria sumar al temps de la fase representada de color verd ja que són 3 carrils de flux (2+1) que van en direcció a Gran Via de Jaume I que en aquell tram és de 3 carrils i sense el conflicte dels vianants. Així doncs, els fluxos es representarien com en la Figura 29.

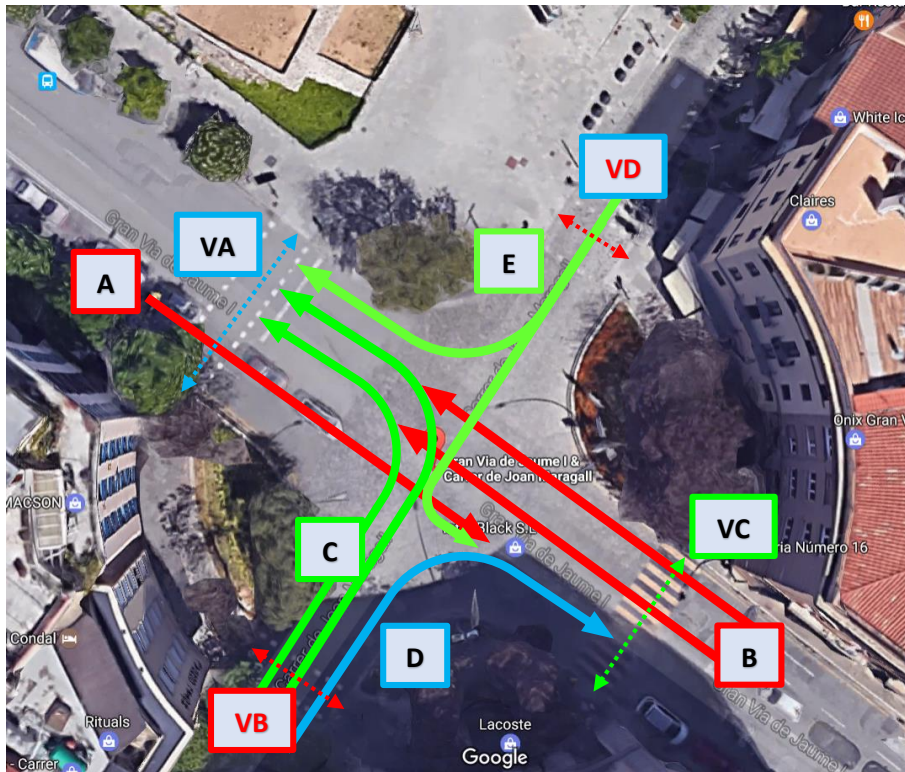


Figura 29. Fluxos Graf2.2. Font: elaboració pròpia.

Aquesta alternativa és molt similar a la Graf1.2 amb la diferencia de que el flux C i D tenen un temps de fase independents i per tant, no hi haurà cap conflicte entre vehicles però si que el flux E que gira cap a l'esquerra podrà ser interromput pel pas de vianants VC, on actualment és el conflictiu.

El flux màxim total és:

$$790 + 468 + 492 = 1750 \frac{\text{usuaris}}{h}$$

Les proporcions de pes en cada C = {s<sub>28</sub>, s<sub>29</sub>, s<sub>34</sub>} són:

$$s_{28} = \frac{790}{1750} = 0.45$$

$$s_{29} = \frac{468}{1750} = 0.27$$

$$s_{34} = \frac{492}{1750} = 0.28$$

La durada per a cada fase de circulació pels tres moviments a realitzar:

$$\text{flux en verd: } s_{28} + s_{21} \rightarrow 0.45 \cdot 110 = 49.5 \approx 49 \text{ s}$$

$$\text{flux en blau: } s_{29} \rightarrow 0.27 \cdot 110 = 29.7 \approx 30 \text{ s}$$

$$\text{flux en vermell: } s_{34} \rightarrow 0.25 \cdot 110 = 30.8 \approx 31 \text{ s}$$

Així les fases semafòriques i el cicle semafòric resultant són els de les Figures 30 i 31 respectivament.

Grup\Fase		1	a	b	2	a	b	3	a	b
1		V	A	R	R	R	R	R	R	R
2		V	A	R	R	R	R	R	R	R
3		R	R	R	V	A	R	R	R	R
4		R	R	R	V	A	R	R	R	R
5		R	R	R	V	A	R	R	R	R
6		R	R	R	V	V	V	V	A	R
7		R	R	R	R	R	R	V	A	R
8		V	A	R	R	R	R	R	R	R
9		R	R	R	R	R	R	V	A	R

Figura 30. Fases semafòriques alternativa Graf2.2. Font: elaboració pròpia.

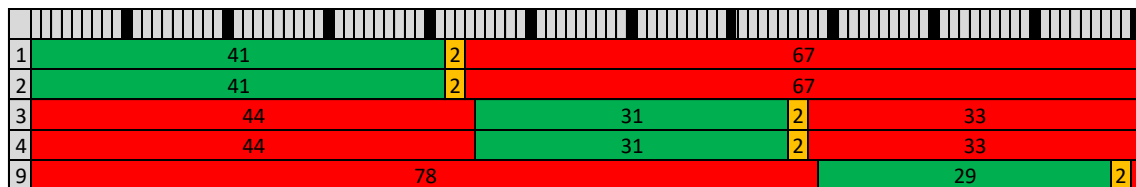


Figura 31. Cicle semafòric alternativa Graf2.2. Font: elaboració pròpia.

Aquesta altra alternativa és molt similar a la Graf1.2. Per aconseguir compensar els temps perduts, el temps del flux verd és el que s'ha vist reduït per poder compensar-ho.

### 5.6. Comparativa de les alternatives

En la Taula 27 que es pot veure a continuació, es mostra la duració –en segons- de tots els fluxos quan aquests tenen permès el moviment per a cada alternativa proposada.

Taula 27. Comparativa de tots els fluxos per a cada alternativa. Font: elaboració pròpia.

Flux \ Alternativa Graf	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2
Verd	37	41	44	43	49
Groc	13			15	
Vermell	23	26	29	27	31
Blau	37	43	25	25	30
Temps ambre	2	2	3	2	2
Temps tot vermell	1	1	1	1	1

Com ja s'ha anat comentant en els seus respectius apartats, les alternatives inicials 1.1 i 2.1 no es consideren viables perquè estan distribuïdes en quatre fases i això genera molts temps perduts i usuaris que han d'esperar uns temps massa elevats.

Les alternatives 1.2 i 2.2 són de tres fases i es podrien tenir en consideració a l'hora de posar-ho en pràctica. La 1.2 dóna preferència als vianants ja que una fase és exclusivament per a ells, en canvi, la 2.2 és el sistema habitual on els vianants i vehicles es mouen de forma simultània sense interferint-se entre ells.

L'alternativa 1.3 és exactament igual a la 2.2 però s'ha realitzat un ajustament en la duració de la fase exclusiva per als vianants, donant un temps suficient per poder creuar el pas de vianants.

## 6. RESUM DEL PRESSUPOST

En el resum del pressupost es pot veure el cost total –amb i sense IVA- d'aquest projecte.

	Preu base			4.100,00 €
Impostos	IVA	21%		861,00 €
	Pressupost final			<b>4.961,00 €</b>

El preu base és de 4100 € (quatre mil cent euros) i amb l'IVA puja fins als 4961€ (quatre mil nou-cents seixanta un euros).

## 7. CONCLUSIONS

Analitzant els resultats obtinguts a partir dels dos mètodes aplicats –fórmules i teoria de grafs-, es poden treure les següents conclusions:

- A partir de les fórmules s'ha vist que la proporció entre les dues fases verdes és molt similar però que la duració del cicle semafòric és inferior. Com que és una intersecció molt transitada, és molt factible augmentar el temps fins als 110 segons que hi ha actualment perquè això implica una durada més llarga dels temps de verd efectius per a cada fase i així permetre un flux amb menys parades de curta durada.

Aplicant la teoria dels grafs s'han estudiat dues alternatives i d'aquestes n'han sorgit dues més que són les que es podrien considerar com a factibles per estudiar i provar.

- Les dues alternatives inicials no són factibles perquè requereixen quatre temps de fase i això provocaria retencions i uns temps de cua massa elevats.
- Les dues alternatives basades en les seves primàries semblen bastant plausibles. Són cicles de tres fases que generen poca interacció entre usuaris i en conseqüència, poques aturades per cedir el pas –actualment els vianants tenen preferència i provoca embussos dins la intersecció-.
- A més a més, s'ha valorat l'opció d'una tercera alternativa que ve d'una de les anteriors proposades però modificant el temps necessari que necessiten per creuar els vianants. Amb els resultats obtinguts s'ha comprovat que necessiten menys temps del que havia sortit inicialment i això ha permès repartir el temps d'una manera que sembla més viable per a la realitat.

## 8. TREBALL FUTUR

Es van recopilar dades del dissabte però fer-ho de manera individual, amb tants fluxos a comptar a la vegada, es va fer impossible de poder realitzar una estimació suficientment acceptable perquè el dissabte –destacant la franja de la tarda-, els fluxos que circulen per aquesta intersecció són molt més elevats.

Si es pogués realitzar una adquisició de dades amb més precisió i recursos, es podria fer l'estudi de la cruïlla principal conjuntament amb les seves adjacents per comprovar la seva simultaneïtat i si funciona de forma eficient en conjunt.

També es podria intentar modelar una alternativa en que al final de la Ronda Sant Antoni M<sup>a</sup> Claret, es pogués girar cap a l'esquerra i així es podria alliberar una mica el flux de l'encreuament principal que circula cap a Joan Maragall per després poder girar cap a la dreta (flux D).

Si es tingués un programa de simulacions del trànsit com tenen les empreses dedicades a aquestes tasques, es podrien introduir les alternatives proposades i visualitzar si són suficientment viables o no i quines serien les possibles modificacions a realitzar per millorar el sistema.

## 9. BIBLIOGRAFIA

AJUNTAMENT DE GIRONA. Pla de mobilitat urbana de Girona. Girona. Novembre 2014.

([http://www2.girona.cat/documents/11622/356394/1\\_2014-11-05-PMU\\_GRN-Doc1-Memoria-v19-alegacions-TOT.pdf](http://www2.girona.cat/documents/11622/356394/1_2014-11-05-PMU_GRN-Doc1-Memoria-v19-alegacions-TOT.pdf) , 22 d'abril de 2017)

AMELUNGE MARTÍNEZ, F. Diseño, fases y tiempos de semáforos.

(<https://es.slideshare.net/negsWebmaster/coneic-vii-semforos-fam-presentacin> , 5 d'abril de 2017)

AUZA SAAVEDRA, L.C., LIMA LOAYZA, M., QUEZADA ALEXANDER, P., GOMEZ PEREIRA, V.M., CARDENAS ESCOBAR, N.M., EGUEZ OLIVA, T. Capacidad y nivel de servicio en las intersecciones con semáforo. 2011. (<https://es.slideshare.net/negsWebmaster/capacidad-y-nivel-de-servicio-en-las-intersecciones-8858073> , 1 de maig de 2017)

CAL Y MAYOR REYES SPÍNDOLA, R., CÁRDENAS GRISALES, J. Ingenieria de tránsito, fundamentos y aplicaciones. Editorial Alfaomega. México. 1994. (<https://es.scribd.com/doc/137583737/Cal-y-Mayor-Ingenieria-de-Transito> , 11 d'abril de 2017)

CALM PUIG, R. Ampliació de Matemàtiques II. Apunts acadèmics. Gra en enginyeria en Tecnologies Industrials. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2015.

COL·LABORADORS DE WIKIPEDIA. *Problema del conjunto de cobertura*. Wikipedia, La enciclopèdia llibre. ([https://es.wikipedia.org/wiki/Problema\\_del\\_conjunto\\_de\\_cobertura](https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_del_conjunto_de_cobertura) , 24 de maig 2017)

COL·LABORADORS DE WIKIPEDIA. *Problema del conjunto de cobertura*. Wikipedia, La enciclopèdia llibre. ([https://es.wikipedia.org/wiki/Problema\\_de\\_la\\_clique](https://es.wikipedia.org/wiki/Problema_de_la_clique) , 24 de maig 2017)

G. ALCÓN, L. El operador clique y los grafos planares. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias exactes. Universidad Nacional de La Plata. Marzo 2003.

K. H., G. Aplicación del algoritmo voraz en la optimización de una intersección vial. Treball final.



MENDOZA LEAL, C.E., TRIANA ALVIS, H., FERNANDO CAMARGO TRIANA, W. Manual de Planeacion y Diseo para la Administracion del Tránsito y Transporte. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 2005.

NAÑÓN BLÁZQUEZ, L. *Manual de Carreteras*.

([https://sirio.ua.es/proyectos/manual\\_%20carreteras/](https://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/) , 8 d'abril de 2017)

PRISNER, E. *A journey through intersection Graph county*.

(<http://www.eprisner.de/Journey/Rahmen.html> , 1 de maig 2017)

RODRÍGUEZ, D. *Revisión del HCM 2010 y 2000 Intersecciones Semaforizadas*. Ingenium, vol. 16, n.º 32, pp. 10-31, mayo 2015.

TARQUINO, F. *Cálculo del tiempo de ciclo del semáforo*.

(<https://es.scribd.com/document/241412178/SEMANA-3-Calculo-Del-Ciclo-Semaforico-2> , 6 d'abril de 2017)

THE NACIONAL ACADEMY. *Highway Capacity Manual*. 2000.

([https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway\\_capacital\\_manual.pdf](https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf) , 11 d'abril de 2017)

## ANNEXOS

### A. CÀLCULS I ALTERNATIVES

#### A.1. Recopilació i estudi de l'aforament

Recopilar les dades efectuant un treball de camp i en un full d'Excel dur a terme un estudi amb les seves mitjanes aritmètiques i desviacions estàndard per veure fins a quin punt són dispars les dades aforades.

El cicle semafòric actual té una duració de 110 segons (al següent apartat hi ha la taula corresponent), per tant, això significa que hi hauran unes 32 mostres per fase en una hora.

- Les següents tres taules pertanyen al període del migdia (dies: 3, 4 i 24 d'abril).

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I																	vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'		vehicles/h																	
																	Flux total	Nº mostres	Correcció hora	vehicles/15' mitjana q	vehicles/15' q 15' màxim																			
vehicles	C	9	7	11	13	11	9	12	8	8	11	11	5	6	11	16	11	7	5	9	7	9	15	9	11	13	11	14	11	12	8	12	9	321	32	321	80	90		
	D	1	7	3	4	4	3	3	2	0	1	1	0	0	1	0	1	5	1	3	0	0	0	2	1	0	2	1	4	1	3	3	2	59	32	59	15	27		
	E (GD)	1	2	0	1	4	3	3	2	1	1	5	2	2	5	2	3	0	1	2	3	0	1	7	2	3	2	3	3	3	0	1	1	69	32	69	17	21		
	E (GE)	1	0	0	3	0	3	2	3	2	2	1	0	0	1	0	0	1	0	1	2	0	0	2	5	3	0	0	0	1	0	1	1	35	32	35	9	12		
vianants	VA	1	5	2	3	1	3	2	2	10	1	5	5	2	2	4	3	3	5	3	6	6	2	0	4	7	6	2	3	5	0	4	2	109	32	109	27	32		
		2	6	1	5	11	6	4	7	2	18	10	4	6	2	3	3	5	3	3	6	5	5	5	3	5	3	5	4	3	2	2	3	152	32	152	38	48		
	VC	1	5	0	4	1	5	5	0	8	1	2	5	4	0	2	8	4	1	5	2	2	7	3	7	4	10	3	10	8	7	3	4	131	32	131	33	49		
		3	4	2	4	0	3	2	2	9	7	2	3	3	2	5	5	5	6	2	6	5	7	5	6	6	9	5	8	7	5	5	6	149	32	149	37	51		
Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall																	vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'		vehicles/h																	
																	Flux total	Nº mostres	Correcció hora	vehicles/15' mitjana q	vehicles/15' q 15' màxim																			
vehicles	A	13	14	5	18	13	11	15	7	8	6	7	11	9	10	8	12	12	8	12	9	18	9	12	18	10	10	13	17	14	13	15	10	369	32	369	92	104		
	B	19	11	8	13	10	12	13	15	12	11	14	15	3	17	11	7	2	6	5	11	9	3	10	10	10	14	7	12	12	11	14	15	342	32	342	86	101		
vianants	VD	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	4	0	2	9	17	24	23	6	9									
		0	1	1	5	2	1	3	2	0	3	1	1	2	0	2	3	1	1	3	0	2	1	1	38	24	51	13	15											
	VB	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	2	5	1	2	2	1	3	25	24	33	8	16										
		6	3	0	2	3	2	6	3	1	0	2	3	0	3	5	2	0	5	3	0	1	3	1	2	56	24	75	19	25										

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'												
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim												
vehicles	C		14	12	11	12	11	11	11	8	13	10	15	11	15	13	9	7	10	12	10	14	12	11	13	8	273	24	364	91	93
	D		2	0	1	3	2	5	1	2	4	3	1	2	3	1	1	3	1	3	0	1	5	1	4	2	51	24	68	17	18
	E (GD)		3	1	4	2	1	3	0	2	1	3	0	1	2	2	3	2	2	1	1	2	1	2	2	4	45	24	60	15	16
	E (GE)		1	3	1	1	2	2	4	2	2	2	2	1	2	5	1	0	3	2	1	1	3	0	3	0	44	24	59	15	16
vianants	VA		4	8	1	0	3	5	6	3	5	2	7	2	7	8	0	7	1	3	5	1	2	6	3	1	90	24	120	30	38
			5	12	7	0	4	3	6	5	5	0	10	3	6	0	4	3	4	2	4	3	7	5	4	2	104	24	139	35	42
	VC		2	3	7	4	5	1	3	6	7	7	5	9	12	8	4	7	0	4	8	2	4	6	3	4	121	24	161	40	59
			12	2	6	1	3	2	5	8	4	7	7	2	10	10	7	3	1	9	7	3	4	7	6	10	136	24	181	45	50

Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'												
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim												
vehicles	A		12	10	12	8	10	10	6	8	11	13	5	10	18	14	12	8	14	16	11	8	9	15	10	7	257	24	343	86	91
	B		10	12	10	10	15	12	12	11	9	11	2	8	10	7	13	14	11	12	10	7	11	9	7	12	245	24	327	82	92
vianants	VD		5	2	1	6	2	2	1	4	0	0	1	3	1	0	0	1	2	4	0	2	1	1	5	1	45	24	60	15	23
			5	3	7	2	2	1	6	3	10	2	1	0	2	4	0	1	1	3	3	2	2	1	5	1	67	24	89	22	29
	VB		3	7	12	2	2	0	3	8	1	2	3	4	0	1	3	5	1	3	4	8	2	1	4	2	81	24	108	27	37
			3	0	6	0	0	0	3	4	5	3	1	2	0	0	1	0	2	1	0	2	2	4	0	3	42	24	56	14	16

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'												
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim												
vehicles	C		12	11	12	10	16	13	12	13	10	15	9	8	7	8	6	8	10	17	11	11	10	9	10	12	260	24	347	87	99
	D		2	3	1	1	1	1	4	0	1	2	0	3	5	0	2	2	3	2	1	3	1	1	0	3	42	24	56	14	15
	E (GD)		3	1	1	2	1	0	1	2	0	3	2	0	2	2	3	1	2	2	1	1	2	1	1	2	36	24	48	12	13
	E (GE)		1	1	3	1	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	2	2	2	1	0	1	3	0	1	1	38	24	51	13	15
vianants	VA		4	4	5	5	4	7	5	6	8	0	4	4	5	5	7	5	3	5	2	1	1	3	0	0	93	24	124	31	40
			6	7	3	1	1	3	8	4	2	6	6	5	2	6	2	10	7	4	7	5	4	1	0	7	107	24	143	36	39
	VC		0	5	3	11	8	12	4	7	6	2	5	2	6	7	5	5	4	5	2	0	3	7	0	1	110	24	147	37	50
			5	12	7	10	11	8	7	11	8	3	12	7	14	10	10	8	7	6	4	5	5	9	3	4	186	24	248	62	72

Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'												
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim												
vehicles	A		14	12	15	14	13	14	14	15	11	12	10	15	13	10	13	14	8	15	12	9	9	10	11	9	292	24	389	97	111
	B		15	10	8	13	19	15	12	11	8	8	15	10	16	12	13	7	4	9	6	13	11	10	3	6	254	24	339	85	103
vianants	VD		2	0	3	3	1	1	1	4	4	1	1	2	3	1	3	0	0	1	0	2	0	0	0	3	36	24	48	12	15
			0	1	5	0	0	1	0	2	0	0	3	1	0	2	0	1	0	4	2	1	0	0	0	0	23	24	31	8	9
	VB		6	3	0	2	0	4	2	1	5	3	1	2	0	1	1	1	2	0	2	1	0	3	1	1	42	24	56	14	18
			2	1	0	4	3	5	3	0	4	1	0	2	2	1	3	2	0	5	1	1	1	1	0	2	44	24	59	15	18

- Les següents dues taules pertanyen al període de la tarda (dies: 3, 4 i 24 d'abril).

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'		vehicles/h														
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim																
vehicles	C		17	15	14	10	12	10	13	12	10	8	14	16	6	12	11	12	10	15	12	11	7	12	11	14	7	89	281	24	375	94	103		
	D		2	2	2	4	1	0	3	0	4	2	0	0	4	1	0	3	3	1	0	1	0	0	1	2	1	6	34	24	45	11	14		
	E (GD)		3	1	1	3	1	1	2	1	0	0	0	1	2	3	3	4	4	2	1	0	5	2	2	4	20	46	24	61	15	20			
	E (GE)		1	1	2	1	1	0	2	3	4	2	0	0	1	2	2	1	2	3	2	0	0	4	0	1	12	35	24	47	12	12			
vianants	VA		10	15	8	5	3	3	4	4	8	5	3	8	7	4	8	6	7	10	7	3	5	4	8	6	50	151	24	201	50	52			
			3	7	5	2	3	6	5	8	7	9	5	7	5	6	4	5	0	1	2	7	2	5	4	7	28	115	24	153	38	48			
	VC		10	7	10	5	6	15	6	7	6	8	8	6	6	17	30	6	10	12	8	7	6	8	15	10	76	229	24	305	76	87			
			15	16	18	12	15	21	12	7	19	13	10	17	15	7	15	12	10	18	10	20	13	17	12	15	115	339	24	452	113	116			

Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'		vehicles/h													
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim															
vehicles	A		15	16	20	10	5	12	12	10	19	17	15	13	19	15	12	11	9	17	12	15	8	11	14	18	104	325	24	433	108	121		
	B		22	14	17	20	12	14	6	11	17	15	18	16	6	8	5	7	12	17	14	13	9	13	17	15	110	318	24	424	106	116		
vianants	VD		1	0	3	0	4	3	0	0	1	0	2	3	0	0	1	0	2	1	5	3	0	2	2	1	16	34	24	45	11	16		
			5	1	0	0	0	0	0	1	2	1	2	1	0	1	1	2	0	2	2	0	1	1	1	3	10	27	24	36	9	10		
	VB		2	2	0	1	2	3	3	0	2	3	8	2	6	0	2	1	3	4	1	1	2	5	3	7	26	63	24	84	21	26		
			1	3	0	5	3	5	4	0	3	2	5	7	3	3	1	3	2	2	4	1	2	2	1	1	15	63	24	84	21	27		

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'		vehicles/h													
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim															
vehicles	C		20	15	14	13	15	8	13	14	12	11	12	7	12	14	11	10	14	10	8	13	11	8	14	12	90	291	24	388	97	112		
	D		3	3	5	3	2	0	3	1	2	2	0	0	2	2	0	1	2	1	1	0	2	1	1	2	10	39	24	52	13	20		
	E (GD)		3	3	2	5	4	5	5	1	3	3	2	0	5	2	2	3	4	3	1	4	1	5	2	2	22	70	24	93	23	28		
	E (GE)		5	6	4	3	4	2	2	3	1	1	2	0	1	1	1	1	1	0	2	3	0	1	1	2	10	47	24	63	16	29		
vianants	VA		7	6	11	5	7	2	1	4	0	8	2	10	3	8	3	12	12	5	9	11	6	7	11	10	71	160	24	213	53	71		
			5	7	8	4	4	7	5	4	5	6	13	8	4	5	15	7	6	9	4	9	4	4	7	8	51	158	24	211	53	63		
	VC		15	20	14	5	8	15	17	10	12	15	13	12	10	8	12	10	5	12	15	14	17	13	16	11	103	299	24	399	100	104		
			6	10	15	8	12	11	12	7	12	10	12	6	12	6	7	9	14	9	13	8	11	15	8	10	88	243	24	324	81	88		

Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall															vehicles/temps		vehiles/h		vehicles/15'		vehicles/h													
															Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim															
vehicles	A		11	17	20	15	14	13	15	15	7	12	11	14	9	11	12	14	16	9	11	11	15	8	12	17	99	309	24	412	103	120		
	B		21	14	14	13	20	9	10	16	14	12	12	10	13	15	7	11	15	17	12	10	15	11	13	15	108	319	24	425	106	117		
vianants	VD		2	1	0	0	2	2	0	1	3	1	2	1	5	0	0	1	1	1	3	2	3	5	0	16	36	24	48	12	16			
			3	0	1	2	0	0	2	7	0	1	1	3	2	2	0	3	0	0	1	1	1	2	0	1	6	33	24	44	11	15		
	VB		2	5	0	1	3	5	1	2	1	2	5	1	6	1	2	1	7	3	1	1	5	3	4	0	24	62	24	83	21	24		
			4	2	6	2	1	2	2	0	4	8	0	3	5	4	1	1	2	5	1	1	4	2	5	0	20	65	24	87	22	26		

Els valors dels fluxos amb els que s'han treballat es mostren amb les taules que venen a continuació.

- Les següents taules pertanyen al període del migdia (13:15 h).

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I								
C		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	321	32	321	80	90	
		05-abr	273	24	364	91	93	
		24-abr	260	24	347	87	99	
Mitjanes	285		344	86	94	376		
Desviació estàndard	32		22	5	5			
D		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	59	32	59	15	27	
		05-abr	51	24	68	17	18	
		24-abr	42	24	56	14	15	
Mitjanes	51		61	15	20	80		
Desviació estàndard	9		6	2	6			
E (GD)		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	69	32	69	17	21	
		05-abr	45	24	60	15	16	
		24-abr	36	24	48	12	13	
Mitjanes	50		59	15	17	67		
Desviació estàndard	17		11	3	4			
E (GE)		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	35	32	35	9	12	
		05-abr	44	24	59	15	16	
		24-abr	38	24	51	13	15	
Mitjanes	39		48	12	14	57		
Desviació estàndard	5		12	3	2			
VA		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	109	32	109	27	32	
		05-abr	90	24	120	30	38	
		24-abr	93	24	124	31	40	
Mitjanes	97		118	29	37	147		
Desviació estàndard	10		8	2	4			
VA		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	152	32	152	38	48	
		05-abr	104	24	139	35	42	
		24-abr	107	24	143	36	39	
Mitjanes	121		144	36	43	172		
Desviació estàndard	27		7	2	5			
VC		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	131	32	131	33	49	
		05-abr	121	24	161	40	59	
		24-abr	110	24	147	37	50	
Mitjanes	121		146	37	53	211		
Desviació estàndard	11		15	4	6			
VC		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	149	32	149	37	51	
		05-abr	136	24	181	45	50	
		24-abr	186	24	248	62	72	
Mitjanes	157		193	48	58	231		
Desviació estàndard	26		50	13	12			
A		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	369	32	369	92	104	
		05-abr	257	24	343	86	91	
		24-abr	292	24	389	97	111	
Mitjanes	306		367	92	102	408		
Desviació estàndard	57		23	6	10			
B		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	342	32	342	86	101	
		05-abr	205	24	327	82	92	
		24-abr	254	24	339	85	103	
Mitjanes	280		336	84	99	395		
Desviació estàndard	54		8	2	6			
VD		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	17	24	23	6	9	
		05-abr	45	24	60	15	23	
		24-abr	36	24	48	12	15	
Mitjanes	33		44	11	16	63		
Desviació estàndard	14		19	5	7			
VD		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	38	24	51	13	15	
		05-abr	67	24	89	22	29	
		24-abr	23	24	31	8	9	
Mitjanes	43		57	14	18	71		
Desviació estàndard	22		30	7	10			
VB		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	25	24	33	8	16	
		05-abr	81	24	108	27	37	
		24-abr	42	24	56	14	18	
Mitjanes	49		66	16	24	95		
Desviació estàndard	29		38	10	12			
VB		vehicles/temps		vehiles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda	
		04-abr	56	24	75	19	25	
		05-abr	42	24	56	14	16	
		24-abr	44	24	59	15	18	
Mitjanes	47		63	16	20	79		
Desviació estàndard	8		10	3	5			

- Les següents taules pertanyen al període de la tarda (19:15 h).

Flux del carrer Joan Maragall cap a la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen la Gran Via de Jaume I											
C		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	281	24	375	94	103				
		05-abr	291	24	388	97	112				
		Mitjanes	286		381	95	108				<b>430</b>
Desviació estàndard	7		9	2	6						
D		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	34	24	45	11	14				
		05-abr	39	24	52	13	20				
		Mitjanes	37		49	12	17				<b>68</b>
Desviació estàndard	4		5	1	4						
E (GD)		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	34	24	45	11	14				
		05-abr	46	24	61	15	20				
		Mitjanes	58		77	19	24				<b>96</b>
Desviació estàndard	17		23	6	6						
E (GE)		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	47	24	63	16	29				
		05-abr	44	24	59	15	16				
		Mitjanes	46		61	15	23				<b>90</b>
Desviació estàndard	2		3	1	9						
Flux de la Gran Via de Jaume I / Vianants que creuen el carrer Joan Maragall											
A		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	325	24	433	108	121				
		05-abr	309	24	412	103	120				
		Mitjanes	317		423	106	121				<b>482</b>
Desviació estàndard	11		15	4	1						
B		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	319	24	424	106	116				
		05-abr	319	24	425	106	117				
		Mitjanes	319		425	106	117				<b>466</b>
Desviació estàndard	1		1	0	1						
VA		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	151	24	201	50	52				
		05-abr	160	24	213	53	71				
		Mitjanes	156		207	52	62				<b>246</b>
Desviació estàndard	6		8	2	13						
VA		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	115	24	153	38	48				
		05-abr	158	24	211	53	63				
		Mitjanes	137		182	46	56				<b>222</b>
Desviació estàndard	30		41	10	11						
VC		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	229	24	305	76	87				
		05-abr	299	24	399	100	104				
		Mitjanes	264		352	88	96				<b>382</b>
Desviació estàndard	49		66	16	12						
VC		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	339	24	452	113	116				
		05-abr	243	24	324	81	88				
		Mitjanes	291		388	97	102				<b>408</b>
Desviació estàndard	68		91	23	20						
VD		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	34	24	45	11	16				
		05-abr	36	24	48	12	16				
		Mitjanes	35		47	12	16				<b>64</b>
Desviació estàndard	1		2	0	0						
VD		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	27	24	36	9	10				
		05-abr	33	24	44	11	15				
		Mitjanes	30		40	10	13				<b>50</b>
Desviació estàndard	4		6	1	4						
VB		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	63	24	84	21	26				
		05-abr	62	24	83	21	24				
		Mitjanes	63		83	21	25				<b>100</b>
Desviació estàndard	1		1	0	1						
VB		vehicles/temps	vehicles/h	vehicles/15'	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	vehicles/h	
		Flux total	Nº mostres	Correcció hora	mitjana q 15'	q 15' màxim	flux màxima demanda				
		04-abr	63	24	84	21	27				
		05-abr	65	24	87	22	26				
		Mitjanes	64		85	21	27				<b>106</b>
Desviació estàndard	1		2	0	1						

A.2. Càlcul del flux equivalent

- Càlcul del factor de l'hora de màxima demanda (FHMD):

Factor hora pic del migdia per a cada carril				
Transport	Direcció	VHMD	q màx 15'	FHMD
vehicles	C	344	376	<b>0,91</b>
	D	61	80	<b>0,76</b>
	E (GD)	59	67	<b>0,89</b>
	E (GE)	48	57	<b>0,84</b>
	A	367	408	<b>0,90</b>
B	336	395	<b>0,85</b>	

Factor hora pic de la tarda per a cada carril				
Transport	Direcció	VHMD	q màx 15'	FHMD
vehicles	C	381	430	<b>0,89</b>
	D	49	68	<b>0,72</b>
	E (GD)	77	96	<b>0,81</b>
	E (GE)	61	90	<b>0,67</b>
	A	423	482	<b>0,88</b>
B	425	466	<b>0,91</b>	

- Càlcul del factor de vehicles pesants ( $f_{VP}$ ):

Factor de vehicles pesants del migdia per a cada carril						
Transport	Direcció	Pc	Ec	Pb	Eb	Fvp
vehicles	C	1	1,5	4	1,5	<b>0,974</b>
	D	1	1,5	20	1,5	<b>0,905</b>
	E (GD)	1	1,5	24	1,5	<b>0,889</b>
	E (GE)	1	1,5	28	1,5	<b>0,874</b>
	A	1	1,5	4	1,5	<b>0,976</b>
	B	1	1,5	4	1,5	<b>0,975</b>

Factor de vehicles pesants de la tarda per a cada carril						
Transport	Direcció	Pc	Ec	Pb	Eb	Fvp
vehicles	C	1	1,5	4	1,5	<b>0,977</b>
	D	1	1,5	24	1,5	<b>0,891</b>
	E (GD)	1	1,5	17	1,5	<b>0,919</b>
	E (GE)	1	1,5	18	1,5	<b>0,914</b>
	A	1	1,5	3	1,5	<b>0,979</b>
	B	1	1,5	3	1,5	<b>0,978</b>

- Càlcul del flux de vehicles equivalents ( $q_{ADE}$ ):

Flux de vehicles equivalents del migdia per a cada carril						
Transport	Direcció	VHMD	FHMD	Ev	Fvp	qade
vehicles	C	344	0,91	1,5	0,974	<b>579</b>
	D	61	0,76	1,2	0,905	<b>106</b>
	E (GD)	59	0,89	1,2	0,889	<b>90</b>
	E (GE)	48	0,84	1,5	0,874	<b>98</b>
	A	367	0,90	1	0,976	<b>418</b>
	B	336	0,85	1	0,975	<b>405</b>

Flux de vehicles equivalents de la tarda per a cada carril						
Transport	Direcció	FHMD	FHMD	Ev	Fvp	qade
vehicles	C	381	0,89	1,5	0,977	<b>660</b>
	D	49	0,72	1,2	0,891	<b>92</b>
	E (GD)	77	0,81	1,2	0,919	<b>125</b>
	E (GE)	61	0,67	1,5	0,914	<b>148</b>
	A	423	0,88	1	0,979	<b>492</b>
	B	425	0,91	1	0,978	<b>476</b>

### A.3. CÀLCUL DELS TEMPS DELS SEMÀFORS

- Flux de saturació:
  - Càlculs per la franja horària del migdia.

Flux màxima saturació per a la franja del migdia						
Flux	A	B	C	D	E (gir esq.)	E (gir dreta)
S <sub>0</sub>	1750	1750	1750	1750	1750	1750
N	1	1	2	1	1	1
f <sub>w</sub>	0,911	0,911	0,911	0,911	0,911	0,911
f <sub>HV</sub>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
f <sub>g</sub>	1	1	1	1	1	1
f <sub>p</sub>	0,895	0,9	0,95	0,9	0,9	0,9
f <sub>a</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
f <sub>bb</sub>	1	0,973	0,973	1	1	0,973
f <sub>LU</sub>	1	1	1	1	1	1
f <sub>RT</sub>	1	1	1	0,85	1	0,928
f <sub>LT</sub>	1	1	0,95	1	0,975	1
f <sub>Lpb</sub>	1	1	0,794	1	0,753	1
F <sub>Rpb</sub>	1	1	1	0,523	1	0,901
S <sub>i</sub>	<b>1271</b>	<b>1244</b>	<b>1980</b>	<b>569</b>	<b>938</b>	<b>1039</b>

Flux	A	B	C	D	E (gir esq.)	E (gir dreta)
v <sub>pedg</sub>	0,00	0,00	688,04	953,33	953,33	688,04
v <sub>ped</sub>	0	0	319	442	442	319
C	110	110	110	110	110	110
g <sub>p</sub>	49	49	51	51	51	51
OCC <sub>pedg</sub>	0	0	0,34	0,48	0,48	0,34
OCC <sub>r</sub>	0	0	0,34	0,48	0,48	0,34
N <sub>turn</sub>	1	1	2	1	1	1
N <sub>rec</sub>	2	3	3	1	1	3
A <sub>pbt</sub>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,79</b>	<b>0,52</b>	<b>0,52</b>	<b>0,79</b>



- Càlculs per a la franja horària de la tarda.

Flux màxima saturació per a la franja de la tarda						
Flux	A	B	C	D	E (gir esq.)	E (gir dreta)
So	1750	1750	1750	1750	1750	1750
N	1	1	2	1	1	1
f <sub>w</sub>	0,911	0,911	0,911	0,911	0,911	0,911
f <sub>HV</sub>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
f <sub>g</sub>	1	1	1	1	1	1
f <sub>p</sub>	0,895	0,9	0,95	0,9	0,9	0,9
f <sub>a</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
f <sub>bb</sub>	1	0,973	0,973	1	1	0,973
f <sub>LU</sub>	1	1	1	1	1	1
f <sub>RT</sub>	1	1	1	0,85	1	0,931
f <sub>LT</sub>	1	1	0,95	1	0,974	1
f <sub>Lpb</sub>	1	1	0,699	1	0,691	1
f <sub>Rpb</sub>	1	1	1	0,430	1	0,862
Si	<b>1271</b>	<b>1244</b>	<b>1745</b>	<b>467</b>	<b>860</b>	<b>999</b>

Flux	A	B	C	D	E (gir esq.)	E (gir dreta)
v <sub>pedg</sub>	0,00	0,00	1009,41	1703,92	1703,92	1009,41
v <sub>ped</sub>	0	0	468	790	790	468
C	110	110	110	110	110	110
g <sub>p</sub>	49	49	51	51	51	51
OCC <sub>pedg</sub>	0	0	0,50	0,57	0,57	0,50
OCC <sub>r</sub>	0	0	0,50	0,57	0,57	0,50
N <sub>turn</sub>	1	1	2	1	1	1
N <sub>rec</sub>	2	3	3	1	1	3
A <sub>pbt</sub>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,70</b>	<b>0,43</b>	<b>0,43</b>	<b>0,70</b>

- Relacions de flux:

- Càlculs per la franja horària del migdia.

$\beta_1$	0,322	<b>Flux A i B</b>
$\beta_2$	0,292	<b>Flux C, D i E</b>

- Càlculs per a la franja horària de la tarda.

$\beta_1$	0,387	<b>Flux A i B</b>
$\beta_2$	0,378	<b>Flux C, D i E</b>

- Càlcul del cicle:

- Càlculs per la franja horària del migdia.

C	52	segons
C (arrod.)	<b>55</b>	segons

- Càlculs per a la franja horària de la tarda.

C	85	segons
---	----	--------

- Temps verd efectiu total ( $g_T$ ):

- Càlculs per la franja horària del migdia.

$g_T$	45	segons
-------	----	--------

- Càlculs per a la franja horària de la tarda.

$g_T$	75	segons
-------	----	--------

- Repartiment del temps dels verds efectius ( $g_i$ ):

- Càlculs per la franja horària del migdia.

$g_1$	24	segons
$g_2$	21	segons

- Càlculs per a la franja horària de la tarda.

$g_1$	38	segons
$g_2$	37	segons

- Temps mínim per al pas de vianants ( $G_P$ ):

Temps mínim verd per als vianants pel migdia			
$G_P$ (VA)	18	segons	
$G_P$ (VB)	12	segons	
$G_P$ (VC)	18	segons	
$G_P$ (VD)	9	segons	

Temps mínim verd per als vianants per la tarda			
G <sub>P</sub> (VA)	19	segons	
G <sub>P</sub> (VB)	12	segons	
G <sub>P</sub> (VC)	21	segons	
G <sub>P</sub> (VD)	9	segons	

**B. PRESSUPOST**

Per elaborar el pressupost del projecte s'ha dividit per etapes on cada etapa té un cost unitari (€) diferent. S'han comptabilitat les hores requerides per cada activitat o recurs emprat.

A continuació es pot veure el pressupost amb els seus costos desglossats.

Etapa del TFG	Activitat / Recurs / Concepte	Cost unitari (€)	Temps (h)	Cost total (€)	Cost %
1. Pre-desenvolupament					
1.1	Aforament del flux actual	10,00 €	10	100,00 €	2%
1.2	Documentació	10,00 €	100	1.000,00 €	24%
	subtotal			1.100,00 €	27%
2. Desenvolupament					
2.1	Redacció del projecte	20,00 €	150	3.000,00 €	73%
	subtotal			3.000,00 €	73%
3. Material					
3.1	Aparells d'aforament		0	0,00 €	0%
3.2	Software de simulació		0	0,00 €	0%
	subtotal			0,00 €	0%
	Preu base			4.100,00 €	100%
4. Impostos	IVA	21%		861,00 €	
	Pressupost final			4.961,00 €	

Per poder redactar el projecte primer s'ha hagut de realitzar un aforament del flux actual i documentar-se per saber què i com és d'important cada concepte per realitzar l'estudi d'una intersecció. Aquesta etapa es la denominada com a pre-desenvolupament i té un cost unitari de 10€/h i un cost total de 1100€ (27% del preu base).

La segona etapa és la del desenvolupament del projecte. Aquí és on s'han elaborat tots els càlculs, estudi i valoracions de les alternatives i la redacció del projecte. S'ha considerat que aquesta etapa és la més cara i s'ha posat un cost de 20€/h i el seu cost total ha estat de 3000€ (73%).

S'ha d'afegir l'IVA que correspon a un 21% del preu base i són 861€.

Per tant, el cost final d'aquest projecte és de **4961€** (quatre mil nou-cents seixanta un euros).

Autor: Alexandre Marco Valls

10 de juny del 2017