



**DOCUMENT V:  
MODELITZACIÓ DEL SISTEMA DE MOBILITAT EN  
VEHICLE PRIVAT**

Per a :



Ajuntament de Salou





## REALITZAT PER:

### INGENIERÍA DE TRÁFICO SL

**Joan Estevadeordal Flotats**  
Planificador de mobilitat

**Àlia Ramellini Llorca**  
Ambientòloga

**Andrea Melero Ramos**  
Geògrafa

**Daniel Montané Lázaro**  
Geògraf



Amb el suport de:



Ajuntament de Salou

# ÍNDIX

<b>1.INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>1</b>
<b>2.MÉTODE.....</b>	<b>2</b>
2.1. ELABORACIÓ DEL GRAF .....	2
2.2. MATRIU ORIGEN/DESTÍ DE DESPLAÇAMENTS .....	5
2.3. ASSIGNACIÓ DE VEHÍCLES.....	5
<b>3.ESCENARIS RESULTANTS DE LA MODELITZACIÓ .....</b>	<b>10</b>
3.1. ESCENARI ACTUAL.....	10
3.2. MODEL ESCENARI TENDENCIAL .....	13
3.3. MODEL ESCENARI PMU SALOU .....	16

## **1.INTRODUCCIÓ**

La metodologia per a establir assignacions de trànsit en funció dels diferents escenaris de modificacions de la xarxa viària es desenvolupa a partir de la modelització del comportament del trànsit. Aquesta es construeix amb el programari especialitzat en macro simulacions TransCAD.

El model reproduceix la mobilitat dels vehicles de l'àrea d'estudi i ha de permetre analitzar la sensibilitat enfront a variacions en la xarxa viària, tant en la incorporació o eliminació de vials com en l'ajust de les velocitats de les vies. El desenvolupament del model s'explica a partir de les següents etapes: generació de la xarxa, distribució dels desplaçaments i assignació dels viatges a la xarxa.

Per les característiques de l'estudi s'ha eliminat la fase de distribució modal, ja que no es contemplen la competència entre els modes ferroviari i carretera. D'aquesta manera es treballa únicament amb la matriu de viatges de vehicles. Les matrius de vehicles es corresponen amb els desplaçaments diaris a temporada alta.

## 2.MÉTODE

### 2.1. ELABORACIÓ DEL GRAF

El graf es defineix com un conjunt de segments, els quals representen de forma esquemàtica la xarxa viària; amb una impedància o resistència a la circulació; connectada entre si a través de punts de diverses característiques. El graf és un entramat continu, per tant, és indispensable que tots els arcs estiguin connectats.

En primer lloc s'ha elaborat el graf, una simplificació parametrizada de la xarxa viària de Salou. Està constituït pels següents elements:

- **Nodes**, representen els cruïlles i les interseccions dels trams de la xarxa. Són els llocs on es produeix o pot produir-se un canvi de direcció dels fluxos de trànsit.
- **Arcs**, representen els trams viaris seleccionats per a la simplificació de la xarxa de carrers i carreteres de Salou. La xarxa utilitzada suma 54,8 km dels 115 km del total de la xarxa de municipi.
- **Centroides**, són els centres que, de forma simplificada, representen els punts d'origen o destí de tots els desplaçaments. A Salou s'han seleccionat els següents centres generadors de viatges:

Figura 1. Centroides del model

Barenys	Primer Eixample - Josep Carner	Port Aventura
Urbanització Covamar	Terrer	Reus
Segon eixample - Barbastre	Nucli antic	Vila-seca
Segon eixample - Vendrell	Barri de la Salut	Tarragona
Segon eixample - Bilbao	Càmping Sanguli	La Pineda - Pla de Maset
Cap Salou - Cala Crancs	Barenys - Centres educatius	La Pineda - Ctra. Costa
Cap Salou - Hotel Negresco	Centre - Mercat	Cambrils - Costa
Xalets de Salou	Centre - Ajuntament	Cambrils - Vial de Cavet
Primer eixample - Paris	Centre - CAP	

Són un total de 27 centroides, 6 d'ells fora del municipi i 21 en barris i punts d'atracció del municipi (Figura 2).

Figura 2. Distribució dels centroides



- **Arcs connectors**, es tracta d'arcs que enllacen els centroides amb la xarxa. Representen les condicions mitjanes d'accés a la xarxa per l'entramat viari local de cada zona.

Associats als nodes hi ha un seguit de paràmetres introduïts al graf:

- **Girs prohibits**, estableixen les prohibicions de girs en determinats encreuaments als quals existeix restricció en algun dels moviments possibles.
- **Penalitzacions**, s'estableixen penalitzacions al temps de viatge associades al pas o al canvi de direcció a determinats nodes. Les penalitzacions atenen a l'ordenació del trànsit i a la regulació semafòrica existent.

Respecte als arcs, els paràmetres associats són com a mínim els següents:

- **Sentit** de les vies, únic o doble
- Longitud del tram
- Nombre de carrils
- **Velocitat** de recorregut del tram sense saturació
- **Temps** de recorregut del tram sense saturació
- Capacitat del tram
- **Restricció** de la capacitat a partir de la regulació semafòrica i ordenació del trànsit reals
- **Paràmetres Alfa i Beta de l'assignació de trànsit**, els quals determinen les velocitats de desplaçament en funció de la intensitat de vehicles.
- **Tipus de via** segons la següent jerarquia:

- **Xarxa interurbana d'accés:** compren les vies d'accés al municipi.
- **Xarxa primària:** comprèn el sistema viari de distribució interna del municipi i de connexió entre els diferents barris.
- **Xarxa secundària:** comprèn les vies exclusivament urbanes que connecten internament els grans quadrants de la trama urbana definits per la xarxa arterial i que són, principalment, vies que connecten l'interior de la trama urbana.
- **Xarxa veïnal:** comprèn la xarxa de distribució veïnal, que té una funció circulatòria interna en l'àmbit dels barris i dona accés als garatges i edificis del nucli urbà. Està composta per la resta de vies.
- **Xarxa exclusiva de vianants:** on tenen prioritats els desplaçaments en modes no motoritzats, i només poden accedir vehicles de serveis, o de veïns d'entrada als guais.

Per a la realització del model s'han tingut en compte els carrers que s'inclouen a la xarxa d'accessos, la xarxa viària urbana primària i alguns trams de la xarxa secundària (Figura 3).

Figura 3. Xarxa utilitzada per la realització del model.





## 2.2. MATRIU ORIGEN/DESTÍ DE DESPLAÇAMENTS

La matriu Origen/Destí de desplaçaments determina la relació entre les diverses zones generadores de desplaçaments. La matriu assigna desplaçaments entre centroides a partir de dades reals obtingudes a partir d'enquestes. En aquest cas les dades s'han obtingut a partir dels resultats de les enquestes realitzades al municipi dins el marc del PMU. Com a referència del nombre de desplaçaments s'ha tingut en compte la mobilitat en dia feiner a l'estiu.

## 2.3. ASSIGNACIÓ DE VEHICLES

Els models d'assignació de desplaçaments disposen d'algoritmes matemàtics per a determinar els fluxos de viatges als trams de la xarxa. Aquesta assignació associa viatges entre cada parell de centroides de la matriu O/D amb un itinerari amb el mínim cost possible (cost en unitats mètriques, temporals o monetàries) tenint en compte les característiques de cada tram. Per tant, permeten obtenir el grau de saturació de cada tram en relació a la capacitat.

Els mètodes d'assignació més utilitzats per a l'assignació de trànsit són els següents:

- **Assignació tot o res:** tots els viatges entre dos centroides s'assignen per l'itinerari amb el mínim cost, independent del grau de saturació dels trams de la xarxa.
- **Assignació per equilibri:** els viatges entre dos centroides s'assignen entre els diferents camins més "raonables" entre ells per motiu de cost segons un model *logit* d'elecció de rutes.
- **Assignació incremental:** els viatges s'assignen de forma gradual, en iteracions successives, realitzant cada cop una assignació tot o res. A cada nova iteració torna a calcular el temps de recorregut en base al volum de trànsit dels trams de la iteració prèvia.
- **Assignació amb restricció de capacitat:** els viatges s'assignen de forma iterativa amb assignacions tot o res, però en aquest cas a cada iteració el cost de pas per cada tram es calcula en funció de la congestió, de la relació entre intensitat i capacitat. D'aquesta manera es produeixen variacions en els camins mínims inicials.
- **Assignació per equilibri estocàstica:** utilitza un procediment iteratiu on, a diferència dels mètodes anteriors, l'objectiu és trobar una solució per convergència. Aquí l'objectiu és aconseguir que cap viatger pugui reduir el cost del desplaçament si canvia de ruta. A cada iteració es torna a calcular el cost de recorre cada tram segons una funció de congestió.

Donada la naturalesa de les dades i l'objectiu d'aquest model, s'ha utilitzat el mètode d'assignació per equilibri. Els paràmetres utilitzats per la simulació de trànsit amb el programa TransCAD han sigut els següents:

- Iteracions: 30
- Convergència: 0,001
- Alfa: 1,000
- Beta: 3,000
- Error: 5,000

## 2.4. CALIBRAT

Per a comprovar si l'adequació de la simulació de trànsit és bona i s'ajusta a la realitat s'utilitza l'índex GEH. Aquest índex compara dues situacions de flux de trànsit. Utilitza una fórmula empírica àmpliament emprada en l'enginyeria del transport per a la modelització de trànsit. La fórmula és la següent:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

M és el trànsit per hora al model.

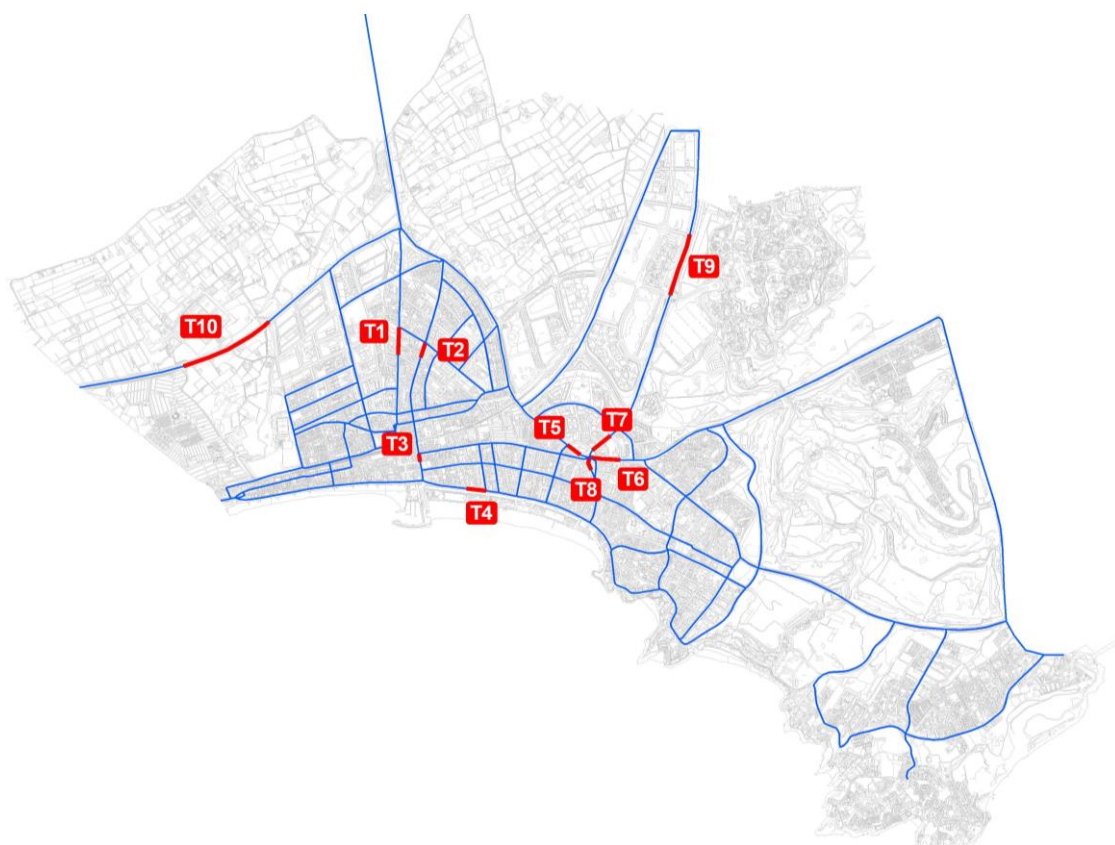
C és el comptatge real, la IMD aforada.

Per a conèixer l'adequació del model s'utilitzen els següents valors de referència de l'índex GEH:

Valor GEH	Descripció
< 5	Model amb un bon ajust entre el trànsit real i el simulat
5 - 10	Model amb un ajust moderat entre el trànsit real i el simulat
> 10	Model amb un mal ajust entre el trànsit real i el simulat

L'índex GEH s'aplica als trams de calibrat. Per ha calibrar el model s'han utilitzat 10 trams de carrers i carreteres del municipi (Figura 4). Els trams seleccionats es corresponen amb els punts d'aforament automàtic d'estiu i als aforaments manuals més representatius (9), ambdós realitzats en marc del PMU de Salou, i a dades d'aforaments realitzats per la Generalitat (1).

Figura 4. Xarxa utilitzada per la realització del model.



El procés de simulació és cíclic i calibrar correctament implica anar millorant i ajustant diferents paràmetres del graf fins a arribar a una situació on els trànsits simulats estiguin suficientment ajustats als reals. En el conjunt dels 10 trams de calibrat les diferències percentuals entre el trànsit real i el simulat no superen el 2%. Els resultats segmentats per trams es mostren a continuació:

Figura 5. Resultats del procés de calibratge al model de simulació de trànsit de Salou

Tram	Identificador	Dades reals	Dades simulació	% Error	GEH
c. Ciutat de Reus	T1	6.078	6.063	-0,2%	0,19
c. Barcelona/Milà	T2	6.136	6.070	-1,1%	0,84
c. Barcelona/Llevant	T3	6.477	6.808	5,1%	4,06
pg. Jaume I	T4	11.136	11.142	0,1%	0,06
C-31B/c. Lleida	T5	29.905	28.423	-5,0%	8,68
C-31B/c. Prat d'en Carbó	T6	22.812	21.820	-4,3%	6,64
av. Pere Molas/Terrer	T7	13.362	13.717	2,7%	3,05
av. Principat d'Andorra	T8	13.667	13.824	1,1%	1,34
av. Pere Molas/Josep Pla	T9	12.700	12.491	-1,6%	1,86
T-325	T10	15.708	15.348	-2,3%	2,89

Figura 6. Distribució de l'índex GEH segons categories

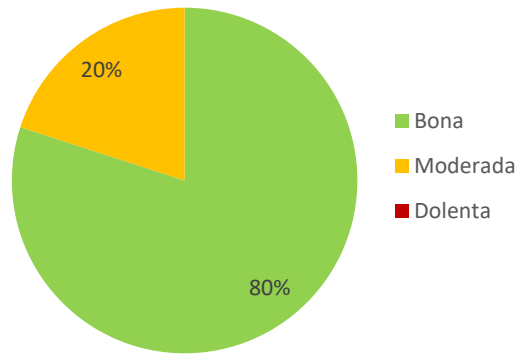
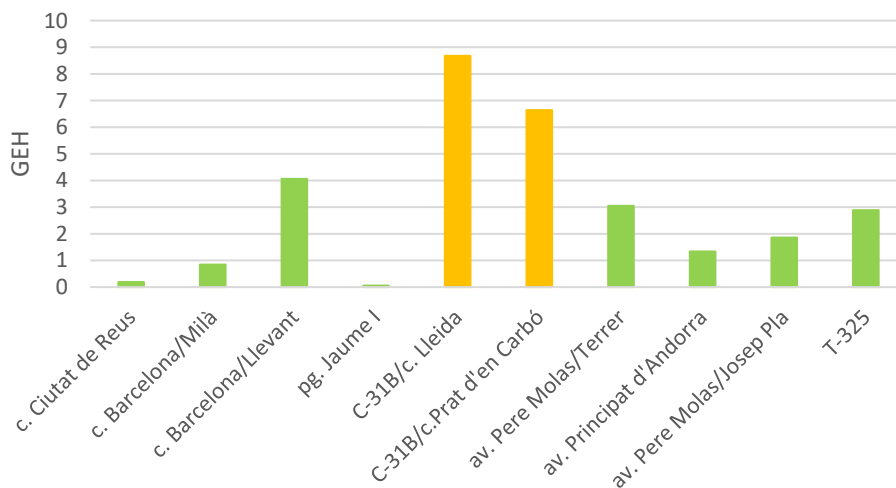
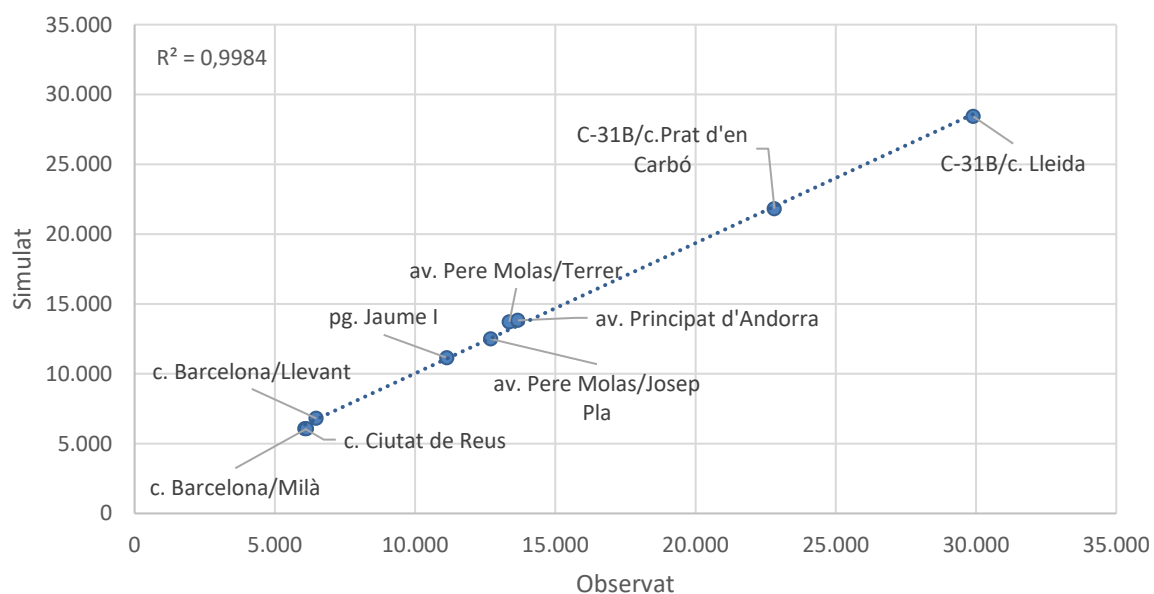


Figura 7. Comparació dels índex GEH entre trams de calibrat



No hi ha cap tram amb un valor GEH superior a 10. El 80% dels trams de calibrat tenen un valor GEH inferior a 5. La mitjana de l'índex GEH és 2,76. Per tant, l'ajust del model és molt bo.

Figura 8. Regressió del trànsit observat en comparació amb el simulat als trams de calibrat



Amb el model de simulació de trànsit ajustat, es presenta la següent matriu de temps dels desplaçaments entre els 10 centroides més representatius de tota la xarxa (Figura 9).

Figura 9. Matriu de temps de desplaçaments del model de trànsit de Salou

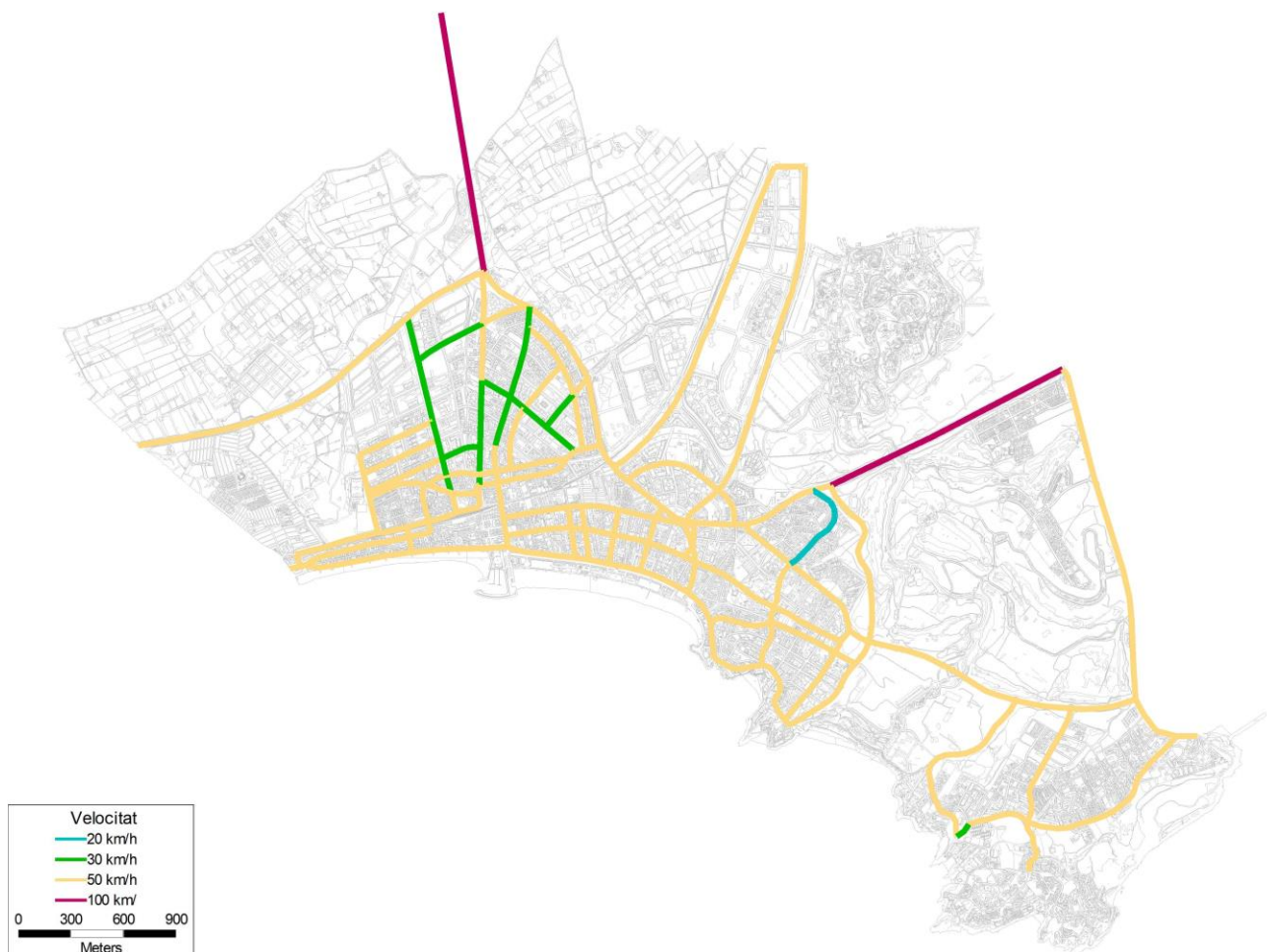
Nom centroide	Vilaseca	Plaça Europa	Cambrils costa	Port Aventura	Xalets de Salou	Cap Salou - Cala Cranc	Covamar	Barenys	Cambrils cavet	CAP Salou
Vilaseca		3 min	8 min	2 min	5 min	8 min	5 min	5 min	7 min	5 min
Plaça Europa	3 min		4 min	3 min	4 min	5 min	2 min	5 min	6 min	2 min
Cambrils costa	7 min	4 min		8 min	9 min	11 min	6 min	2 min	6 min	6 min
Port Aventura	2 min	3 min	5 min		4 min	6 min	3 min	6 min	6 min	4 min
Xalets de Salou	6 min	5 min	10 min	5 min		4 min	4 min	8 min	8 min	6 min
Cap Salou - Cala Cranc	7 min	4 min	8 min	5 min	4 min		4 min	8 min	10 min	9 min
Covamar	4 min	1 min	7 min	2 min	3 min	4 min		5 min	6 min	4 min
Barenys	7 min	6 min	2 min	5 min	7 min	8 min	8 min		5 min	3 min
Cambrils cavet	7 min	6 min	6 min	6 min	10 min	10 min	7 min	5 min		5 min
CAP Salou	5 min	3 min	5 min	3 min	4 min	8 min	4 min	2 min	5 min	

### 3. ESCENARIS RESULTANTS DE LA MODELITZACIÓ

#### 3.1. ESCENARI ACTUAL

L'escenari actual és el punt de partida, és l'escenari calibrat. Per a aquest escenari s'han tingut en compte les velocitats, la regulació semafòrica i l'ordenació del trànsit actuals, vigents l'any 2018. La figura 10 mostra les velocitats incorporades al graf.

Figura 10. Velocitat del graf del model de trànsit de Salou per a l'escenari actual



El flux de vehicles simulat, la IMD modelitzada, mostra un volum de trànsit concentrat al centre del municipi, a l'eix situat entre els carrers que creuen la plaça Europa (Figura 11).

Figura 11. Aranya de trànsit simulada per a l'escenari actual



Figura 12. Resum dels nivells de servei simulats per a l'escenari actual

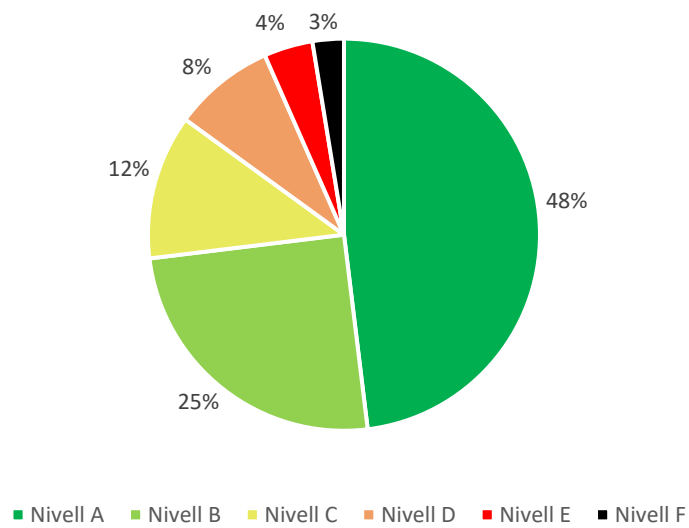
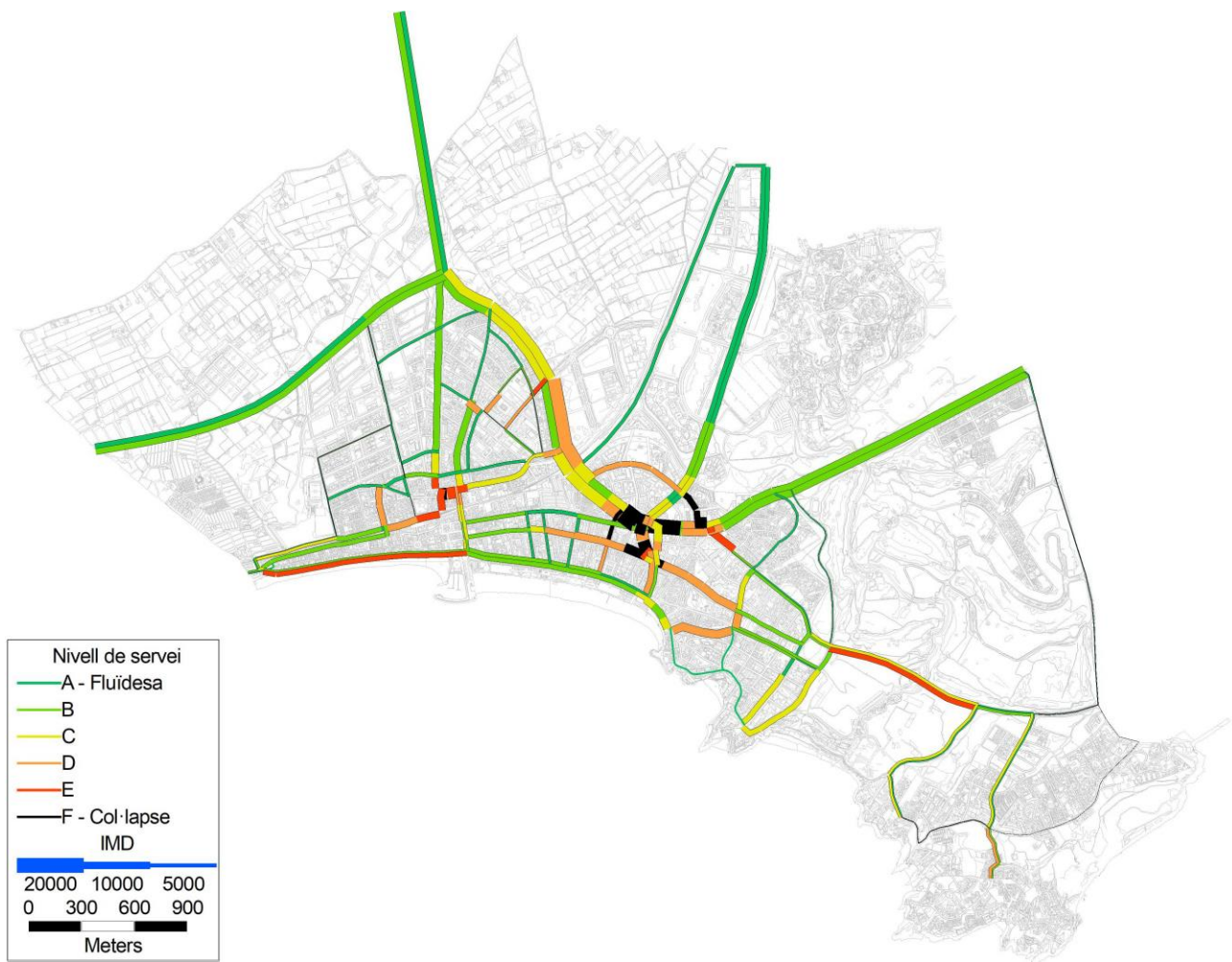




Figura 13. Nivells de servei simulats per a l'escenari actual



Entre els nivells de servei A i B sumen el 73% de la xarxa. Aquests nivells de fluïdesa elevada estan situats als carrers d'ús veïnal i a les carreteres de la xarxa comarcal i provincial. En canvi, els nivells E i F, que sumen el 7% i representen els nivells de servei amb més col·lapse, se situen al voltant de la plaça Europa.

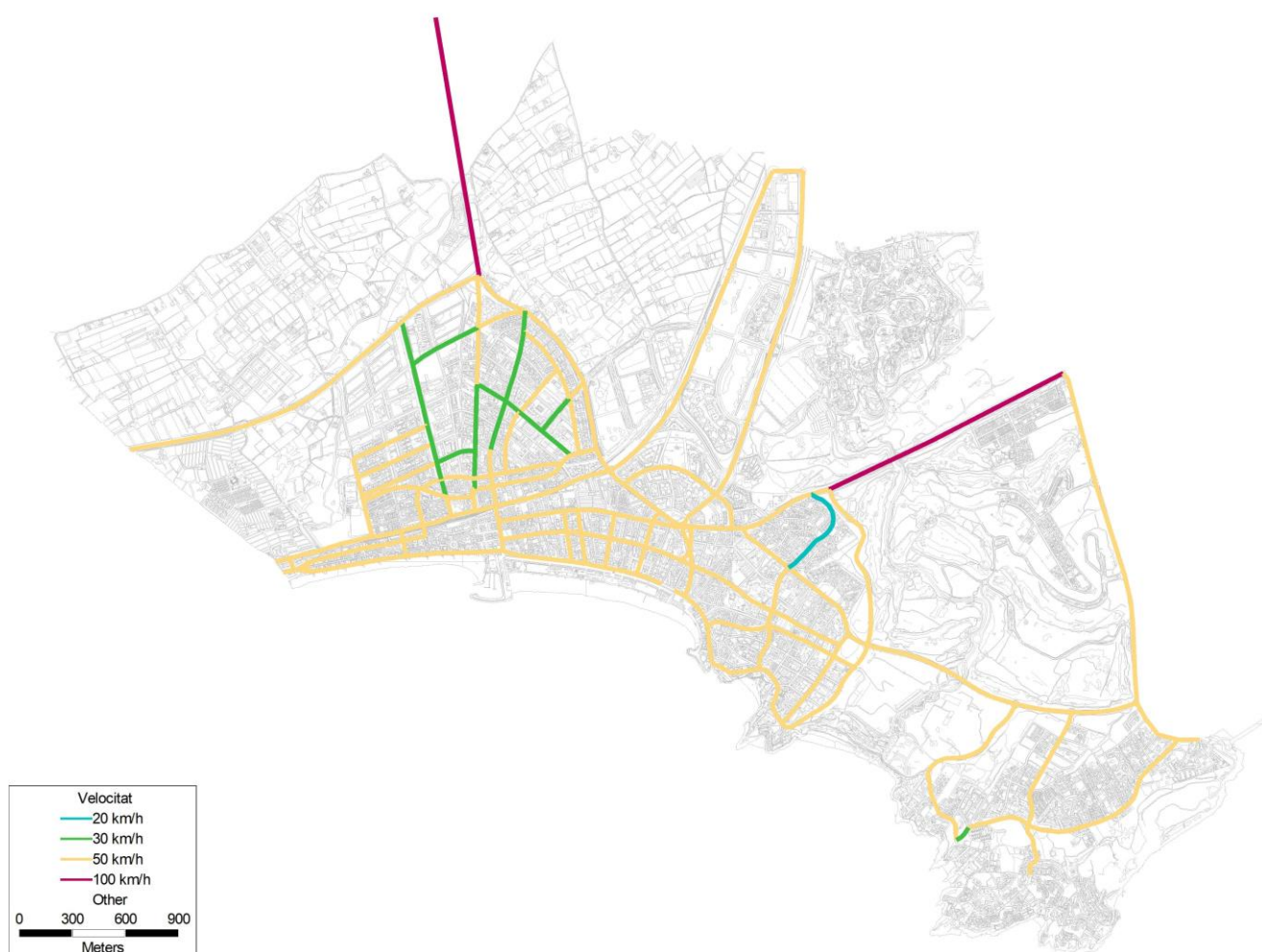


### 3.2. MODEL ESCENARI TENDENCIAL

L'escenari tendencial és la simulació de futur en el cas que no s'apliquessin les propostes incorporades al Pla de Mobilitat Urbana i Sostenible del municipi de Salou 2019-2024. Per tant, les velocitats i la resta de paràmetres, tals com la regulació semafòrica o la capacitat de les vies, s'ha mantingut com l'actual (Figura 14).

Aquest escenari però, incorpora el viari que es construirà fruit del desmantellament de la xarxa de ferrocarril que travessa el municipi. També s'ha tingut en compte un increment del 25% del trànsit. Aquest increment de trànsit pel 2024 es correspon amb la predicció de trànsit del Pla Director de Mobilitat del Camp de Tarragona i agreujat al cas del municipi de Salou per l'eliminació de l'estació de tren central.

Figura 14. Velocitat per a l'escenari tendencial



L'estructura de l'aranya de trànsit és similar a la de l'escenari actual, però amb un increment general del volum de vehicles (Figura 15).

Figura 15. Aranya de trànsit simulada per a l'escenari tendencial

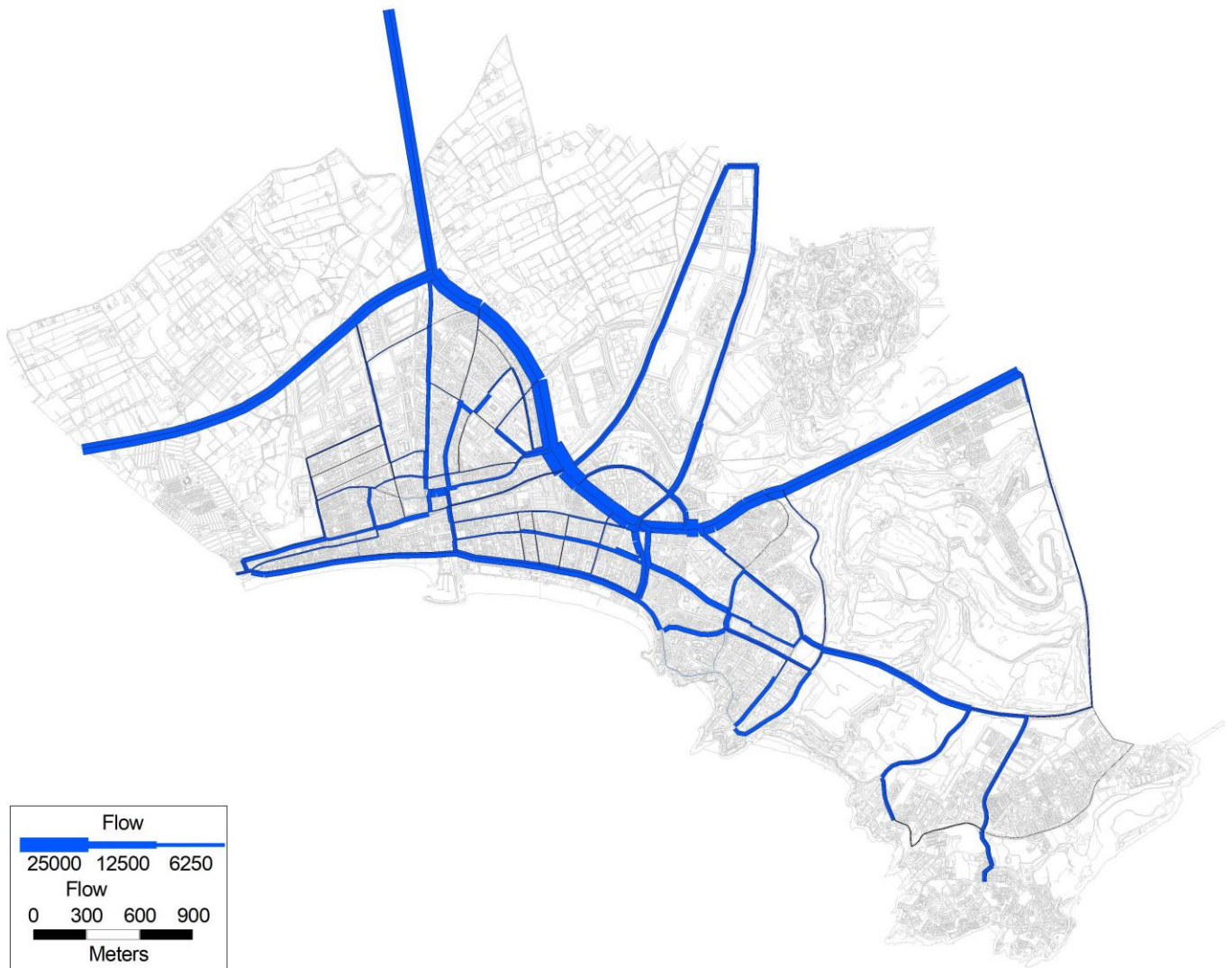


Figura 16. Resum dels nivells de servei simulats per a l'escenari tendencial

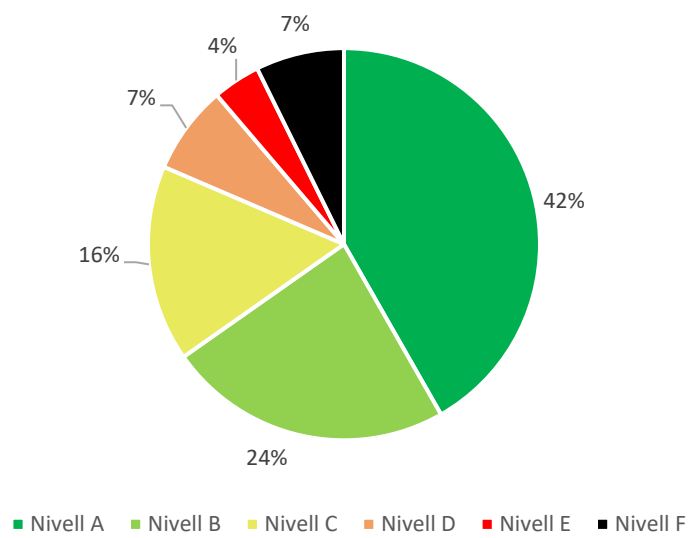
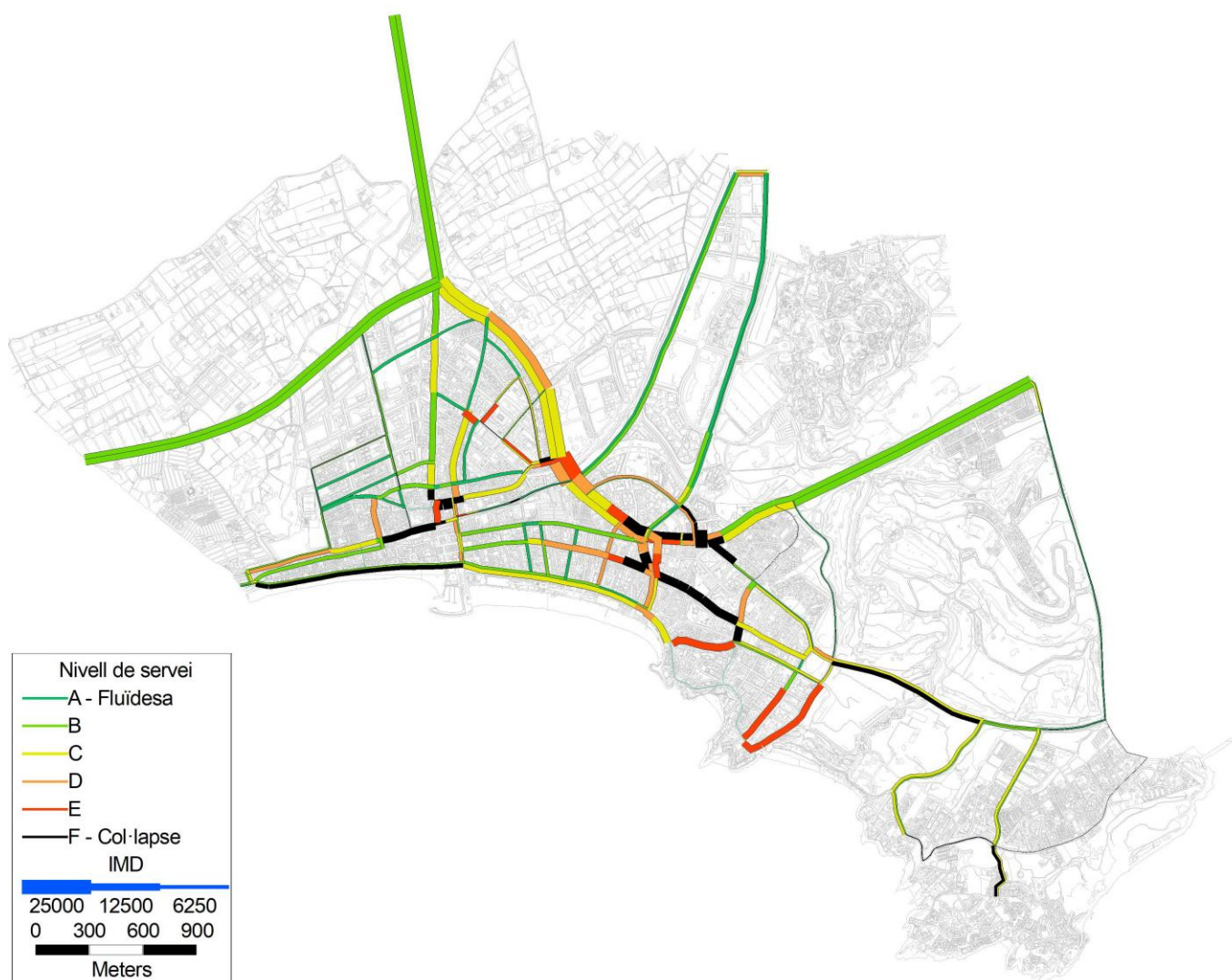


Figura 17. Nivells de servei simulats per a l'escenari tendencial



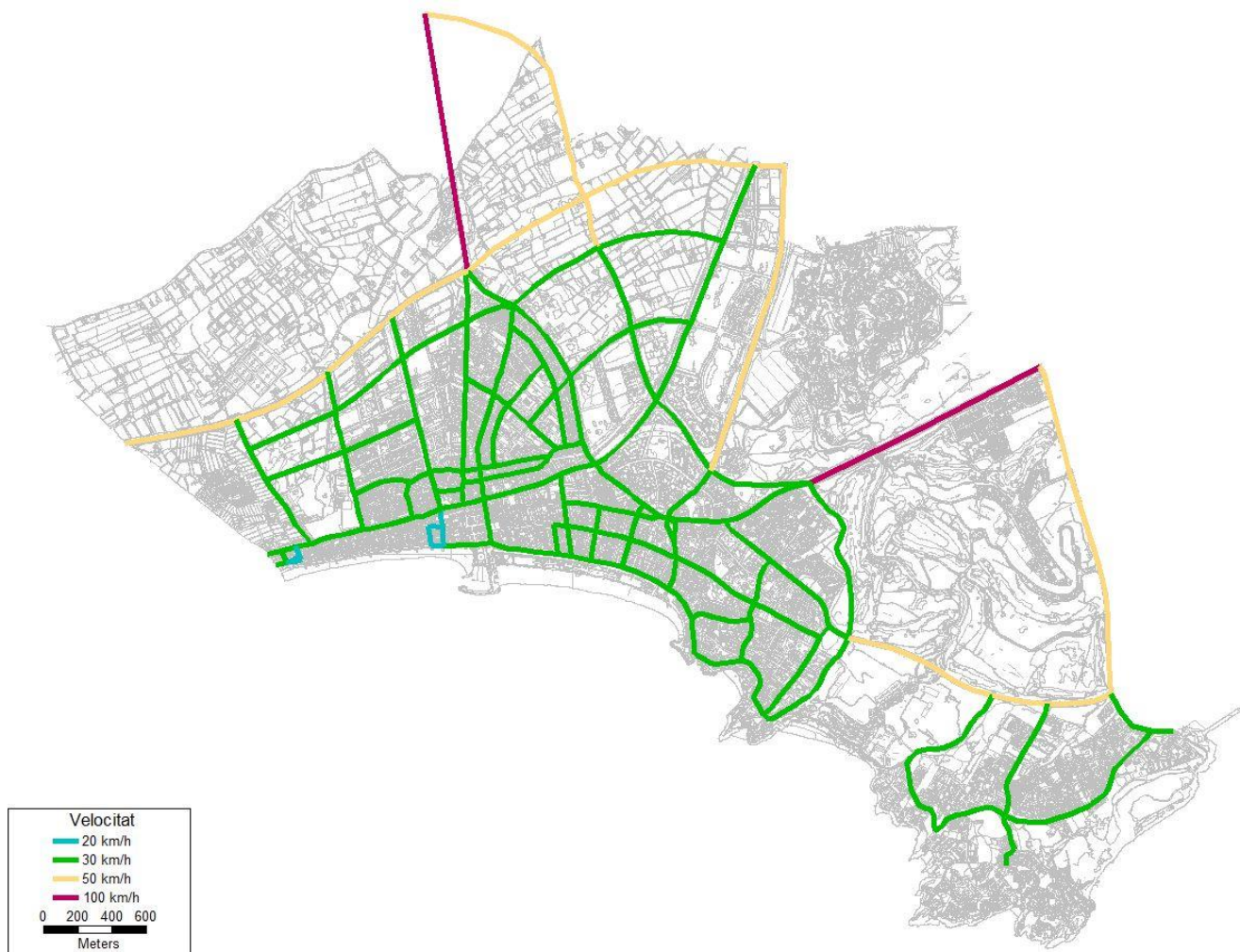
L'escenari tendencial presenta un nivell de fluïdesa inferior a la de l'escenari actual. Entre els nivells de servei A i B sumen el 66% de la xarxa, un 7% menys que a l'escenari actual. Els trams amb el nivell de servei més fluid es continuen trobant als trams més perifèrics de la xarxa de carreteres comarcal i provincial. Els trams situats a carrers d'ús veïnal presenten nivells de fluïdesa inferiors a l'escenari actual, ja que aquets carrers absorbeixen part del trànsit al col·lapsar les vies principals. Els nivells de servei E i F sumen el 11%. Es tracta doncs, d'una xarxa força col·lapsada.



### 3.3. MODEL ESCENARI PMU SALOU

L'escenari PMU Salou és la simulació de futur que inclou totes les propostes fetes al PMU de Salou 2019-2024. Les velocitats, la ordenació del trànsit, les capacitats de les vies i la resta de paràmetres del graf han sigut modificades d'acord a les propostes (Figura 18). S'ha considerat un increment del 7% del trànsit com a resultat de la relació entre la predicció del Pla Director de Mobilitat del Camp de Tarragona i la del PMU de Salou.

Figura 18. Velocitat per a l'escenari PMU Salou



A l'aranya de trànsit de l'escenari PMU Salou el volum de vehicles segueix concentrat al voltant de la plaça Europa. La inclusió de la nova vitalitat permet establir rutes alternatives, com per exemple la incorporació del vial entre C-31B a l'alçada de l'av. de la Pedrera amb l'av. Pere Molas, i alleugerir el volum de vehicles que han de circular fins a la plaça Europa. La reducció de velocitat de les xarxes veïnals redirigeix el trànsit cap a les carreteres T-325 i C-31B que envolten el nucli urbà.

Figura 19. Aranya de trànsit simulada per a l'escenari PMU Salou

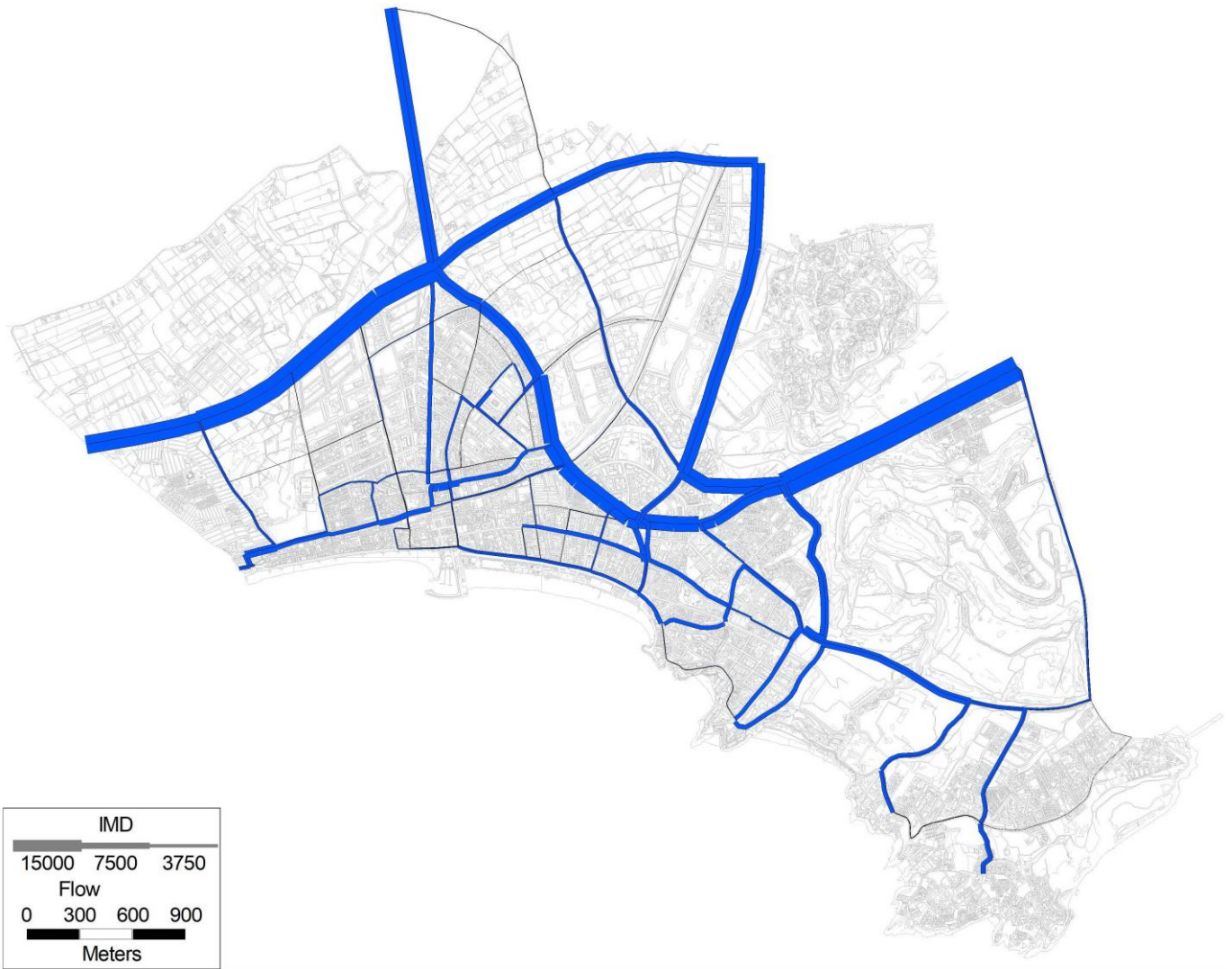


Figura 20. Resum dels nivells de servei simulats per a l'escenari PMU Salou

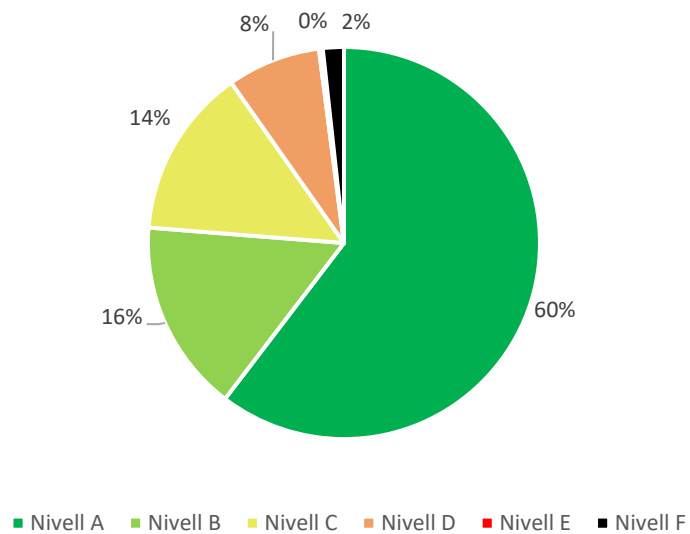
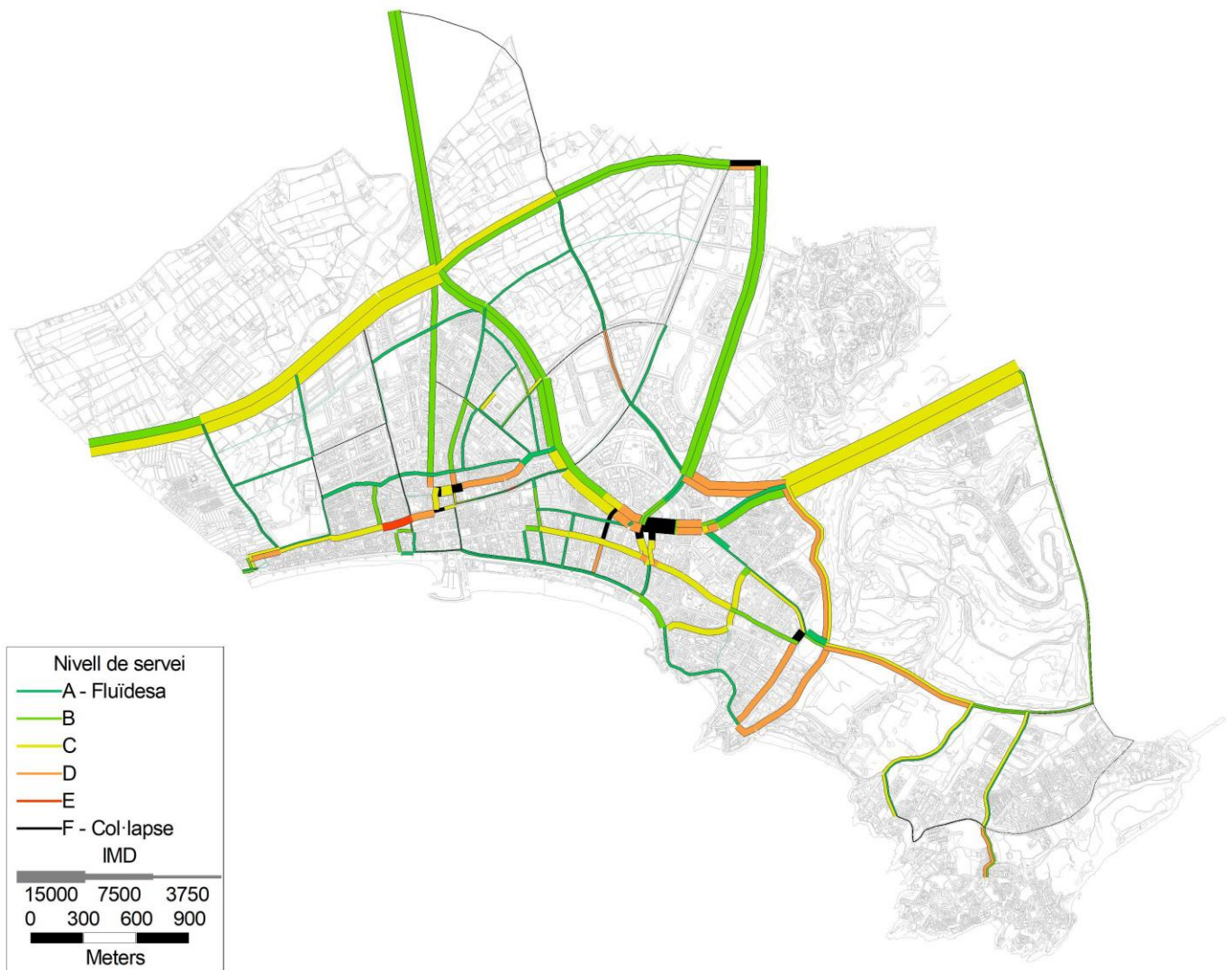


Figura 21. Nivells de servei simulats per a l'escenari PMU



L'escenari PMU Salou presenta un nivell de fluïdesa molt superior al de l'escenari tendencial i millor respecte l'escenari actual. Entre els nivells de servei A i B sumen el 76% dels trams de la xarxa, un 3% superior a l'escenari actual i un 10% més que a l'escenari tendencial. La incorporació del sector Emprius millora la fluïdesa de tota la zona. D'altra banda, la incorporació dels vials a la zona de Barenys també facilita la fluïdesa del trànsit, tot i l'increment del 7% dels desplaçaments.

Els nivells de servei E i F sumen el 2% del total de la xarxa, suposa un 9% menys que a l'escenari tendencial i un 5% menys que a l'actual. La pacificació del passeig Miramar ha implicat un increment del volum de trànsit al barri de la Salut i al carrer de Barenys. El nivell de servei al segon eixample turístic també ha empitjorat respecte a l'escenari actual, en aquest cas a causa de l'increment general d'un 7% del trànsit. Dels dos escenaris futurs, l'escenari que incorpora les propostes és el que permet un nivell de fluïdesa major al municipi.