



Racionalización del servicio de bus en la Av. Diagonal, en el marco de la Nueva Red de Autobuses.

Proyecto D30

ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System)

TRA. 13P014



Transports
Metropolitans
de Barcelona



INTRODUCCIÓN

Introducción y objetivos

El presente proyecto trata del estudio de la implementación de la línea D30 en la Avenida Diagonal, analizando y caracterizando la **demanda** para el dimensionamiento de la línea, mediante TRANSCAD.

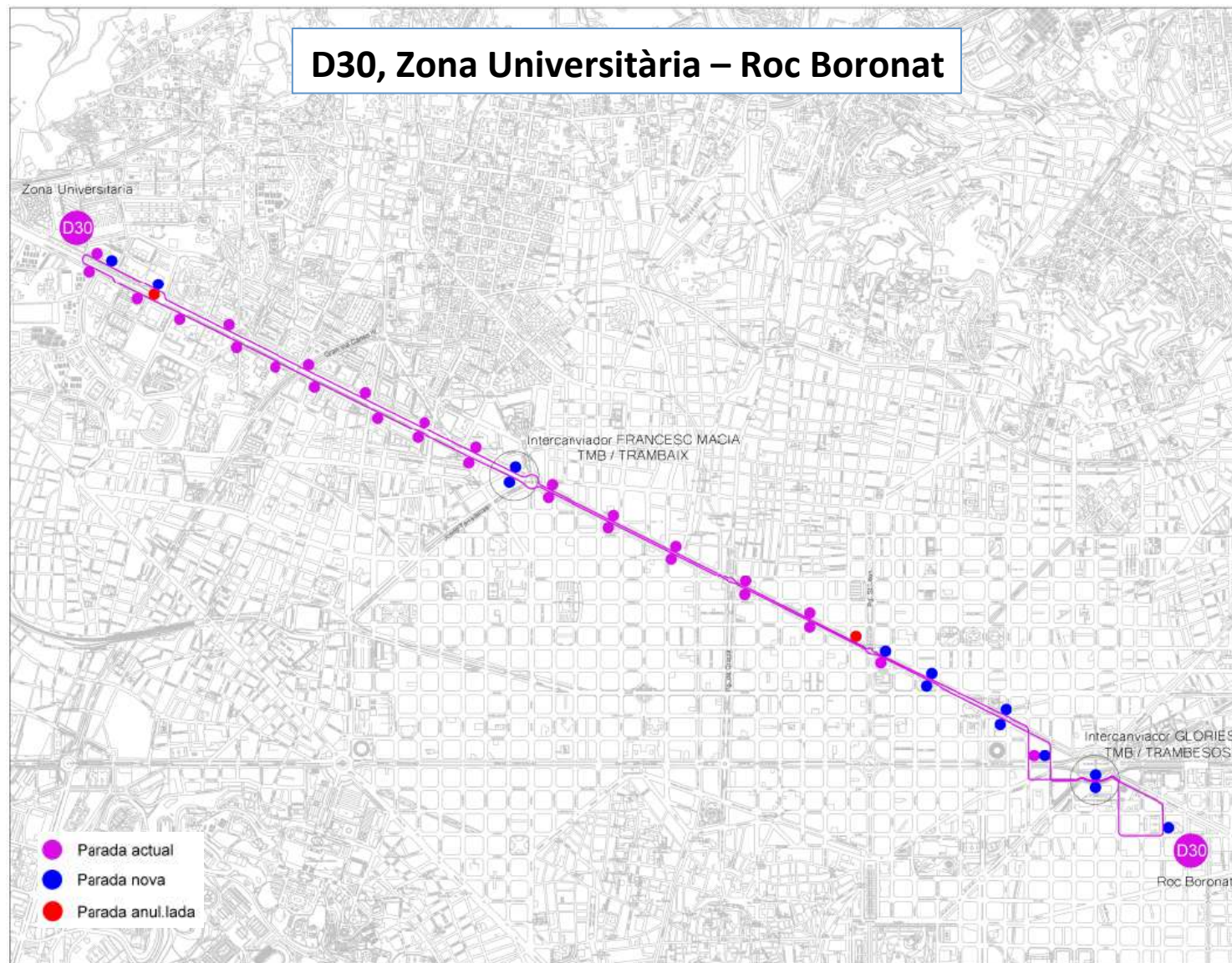
Se estudia la futura implementación de la **línea D30** de la Noxa Xarxa d'Autobusos de TMB juntamente con las actuaciones estudiadas en las líneas concurrentes:

- ♦ **D30, Zona Universitària – Roc Boronat**
- ♦ **7, Pl. M. Cristina – Fòrum**
- ♦ **33, Z. Universitària – Verneda**
- ♦ 6, Verdaguer – Poblenou
- ♦ 34, Verdaguer – Virrei Amat

para la mejor explotación del **corredor de l'Av. Diagonal**.

Este corredor tendrá una gran relevancia y presencia dentro de la red barcelonesa de transportes y se operará con **autobuses eléctricos**, hecho que contribuirá al impulso de este nuevo paradigma de **movilidad sostenible**.

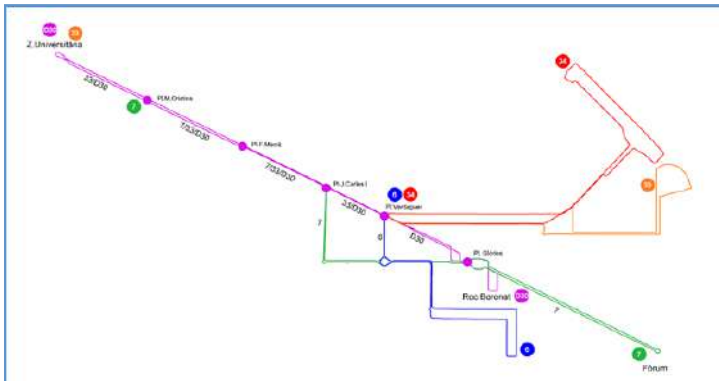
- El objetivo del estudio es el **análisis del corredor de la Diagonal**:
 - ♦ **Flujos de usuarios** por línea en el tramo de estudio.
 - ♦ **Perfiles de carga** de cada línea.
 - ♦ **Transferencias** de usuarios entre líneas.



Caracterización de la oferta. Red de Transporte Público de Barcelona

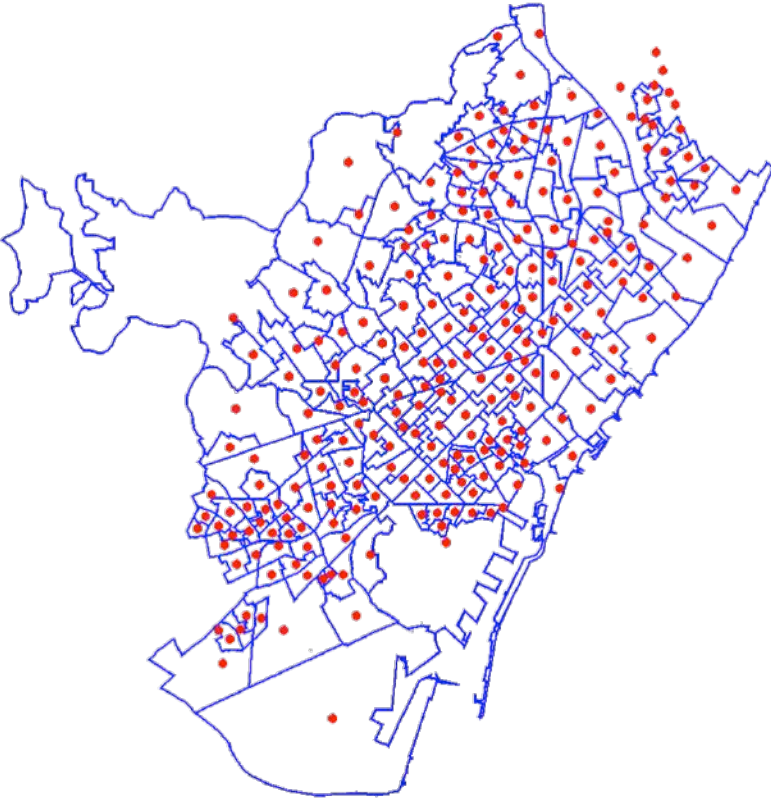


- Se definen **4 escenarios de oferta** para valorar el **corredor Diagonal** y se introducen sus grafos al programa TransCAD con la matriz estimada obtenida de la calibración.
 - ♦ El **Escenario 0** se refiere a la oferta que encontramos actualmente implementada.
 - ♦ El **Escenario 1** hace referencia al estado de la red de transportes una vez implantada la Fase 4 de la NXB.
 - ♦ En el **Escenario 2** se introduce la línea D30 junto con actuaciones en líneas preexistentes.
 - $V_{c-D30} = 10,5 \text{ km/h.}$
 - ♦ El **Escenario 3** simula un escenario con la NXB y el nuevo tranvía de la diagonal:
 - Considera tranvía sin ninguna línea de bus convencional entre Fr. Macià y Pl. Jacint Verdaguer (plataforma tranvía incompatible con circulación de autobuses)
 - ♦ El **Escenario 4** considera las mismas condiciones que el escenario 3 pero con una velocidad comercial del tranvía de 15 km/h.



		Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Red de autobús	Convencional es	✓	✓	✓	✓	✓
	Modificaciones líneas afectades D30	-	-	✓	-	-
	Eliminación línea afectada 7	-	-	-	✓	✓
	NXB Fase 4	-	✓	✓	✓	✓
Red de TPC	Metro	✓	✓	✓	✓	✓
	TramBaix y TramBesòs	✓	✓	✓	✓	✓
	Otras: FGC y Renfe	✓	✓	✓	✓	✓
Corredor Diagonal	D30	-	-	✓	-	-
	Tram	-	-	-	✓ (17,5km/h)	✓ (15km/h)

- Se parte de una Matriz Origen-Destino realizada para la encuesta de movilidad **EMIT 2007** de TMB.
 - ♦ Subdivisión de Barcelona en 44 zonas (total de 68 en el área de estudio) y posterior adaptación a las 198 zonas censales con las que se trabaja en el presente proyecto (base de la encuesta EMO 2006).
 - ♦ Esta matriz, transformada a la correspondiente en hora punta (8% de la diaria) será la matriz O/D base del estudio (T_{ij}).



- No obstante, es necesaria una cierta reestimación de T_{ij} para actualizar la red de autobuses según los cambios sufridos en la red de transportes de Barcelona y la introducción de la NXB.
 - ♦ El proceso de creación de la matriz O/D T_{ij}^* ajustada se comenta posteriormente.

- El proceso de **asignación** distribuye los viajes (demanda introducida a partir de la matriz O/D T_{ij}) a la red de TPC (sistema de rutas, paradas y frecuencias de las líneas de TPC).
- TransCAD utiliza dos métodos básicos de asignación aplicables a esta modelización:
 - ♦ **Pathfinder**. Generalización del método de las estrategias óptimas basado en la **elección**, por parte del usuario, **de la mejor ruta** considerando diferentes aspectos como la accesibilidad, las transferencias, las tarifas, etc.
 - ♦ **Equilibrio del usuario estocástico (SUE)**. El usuario escoge la ruta que **percibe** con un **menor coste**.
- Debido al **flujo** existente en el tramo de recorrido de la nueva línea de bus, el método más adecuado que permite el estudio de zonas con diversas alternativas de transporte es el **SUE**.
 - ♦ El método del SUE es apropiado para escenarios de flujo intermedio en que no se llega a capacidad.

- Una vez asignada la demanda para el escenario 1 **se estima una nueva matriz OD** comparando en la iteración k-ésima los datos resultantes de la asignación con los **flujos reales**. Tal estimación se realiza con TransCAD a partir de 2 inputs:
 - ♦ Matriz O/D inicial (T_{ij})
 - ♦ *Boarding Counts*: Subidas y bajadas de las líneas 7, 33 y 34.

Para la estimación, TransCAD utiliza el método ***multipath de Nielsen***:

 Método de actualización de matrices O/D que compara los flujos asignados y observados a lo largo de las conexiones entre todos los pares O/D. Los ratios flujos observados/ flujos asignados se utilizan para calcular un **factor de actualización** para el flujo en cada par O/D. Nielsen trata los contajes como variables aleatorias sujetas a errores de medida.

$$\text{Min } z(x) = z_1 (y - \hat{y}) + z_2 (x - \hat{x})$$

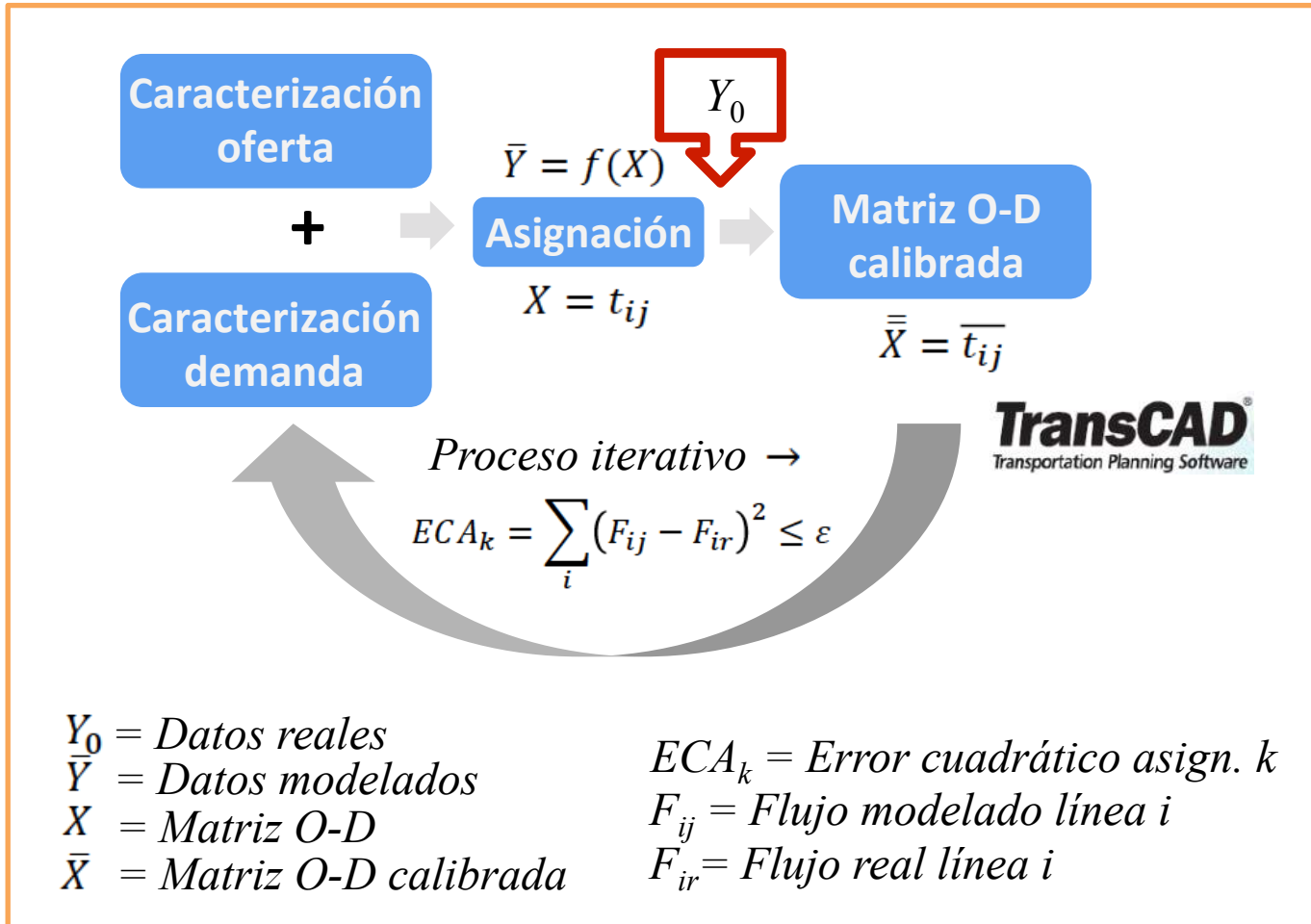
$$\text{s.t. } y = \text{Assignment}(x)$$

$$x \geq 0$$

where $x = OD$ flow estimates

$y = \text{Boarding Counts}$

$\hat{x} = \text{Target flows}$



RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 0. Validaciones de las principales líneas afectadas

BUS	LÍNEA (validaciones)				
ESCENARIO 0 con Matriz O/D Estimada	6	7	33	34	D30
A (ida, pax/h)	465	1160	970	967	-
T (vuelta, pax/h)	651	858	834	745	-
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	1117	2018	1804	1712	-
TOTAL Diario (pax/día)	13957	25221	22556	21399	-

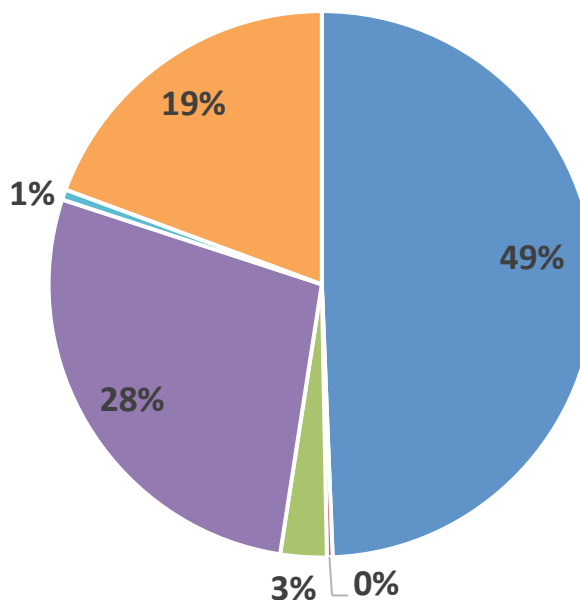
Velocidad comercial	
Bus	10,5 km/h

Espaciamento paradas	
Bus	341 m

Intervalo de paso	
6	8 min
7	6,9 min
33	5,9 min
34	6,2 min

TRAM	LÍNEA (validaciones)
ESCENARIO 0 con Matriz O/D Estimada	tranvía DIAGONAL
A (ida, pax/h)	-
T (vuelta, pax/h)	-
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	-
TOTAL Diario (pax/día)	-

REPARTO MODAL ESCENARIO 0



RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 1. Validaciones de las principales líneas afectadas

BUS	LÍNEA (validaciones)				
ESCENARIO 1 con Matriz O/D Estimada	6	7	33	34	D30
A (ida, pax/h)	471	1320	869	843	-
T (vuelta, pax/h)	719	959	955	560	-
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	1190	2279	1824	1403	-
TOTAL Diario (pax/día)	14870	28482	22799	17540	-

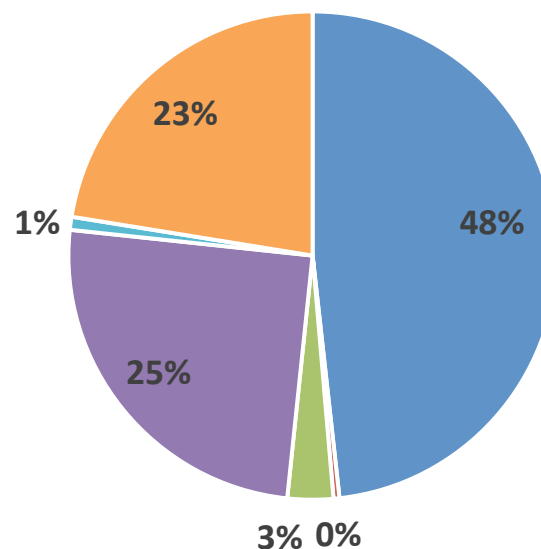
TRAM	LÍNEA (validaciones)
ESCENARIO 1 con Matriz O/D Estimada	tranvía DIAGONAL
A (ida, pax/h)	-
T (vuelta, pax/h)	-
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	-
TOTAL Diario (pax/día)	-

Velocidad comercial	
Bus	10,5 km/h

Espaciamento paradas	
Bus	341 m

Intervalo de paso	
6	8 min
7	6,9 min
33	5,9 min
34	6,2 min

REPARTO MODAL ESCENARIO 1



■ METRO ■ TRAM ■ FC ■ BUS ■ RENFE ■ NXB

RESULTADOS: CALIBRACIÓN MATRIZ O/D

Escenario 1

MATRIZ OD (PARCIAL 10x10)

O / D	14	19	89	140	156	265	267	269	271	275
14	19	1	7	5	1	1	3	4	4	4
19	2	5	2	2	2	5	2	6	6	6
89	7	2	1	2	3	2	4	3	3	3
140	2	3	2	11	2	3	3	4	4	4
156	1	1	3	2	7	1	1	2	2	2
265	2	5	2	2	2	5	2	6	6	6
267	4	3	5	3	1	3	3	3	3	3
269	5	5	3	4	2	5	4	9	9	9
271	5	5	3	4	2	5	4	9	9	9
275	5	5	3	5	2	5	4	9	9	15

$\sum$ Viajes en hora punta = 112908

- Partiendo de la matriz OD inicial TansCAD nos permite estimar una nueva matriz OD tras los resultados de la primera iteración que reduce el error global.

COMPARACIÓN RELATIVA

MATRIZ OD ESTIMADA (PARCIAL 10x10)

O / D	14	19	89	140	156	265	267	269	271	275
14	19	1	7	5	1	1	3	4	4	4
19	1,69	5	2,01	2	1,91	5	2	6	6	5,62
89	7	2	1	2	3	2	3,78	3	3	3
140	2	3	2	11	2	3	3	4	4	4
156	1	0,06	3	2	7	0,57	0,07	1,81	1,57	2
265	2	5	2	2	2	5	2	6	6	6
267	4	3	5	3	0,98	3	3	3	3	3
269	5	5	3	4	2	5	4	9	9	9
271	5	5	3	4	2	5	4	9	9	9
275	4,71	5	3	5	2	5	4	9	9	15

$\sum$ Viajes en hora punta = 109466

O / D	14	19	89	140	156	265	267	269	271	275
14	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
19	16%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	6%
89	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%
140	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
156	0%	94%	0%	0%	0%	43%	93%	9%	22%	0%
265	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
267	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
269	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
271	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
275	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 2. Validaciones de las principales líneas afectadas

BUS	LÍNEA (validaciones)				
ESCENARIO 2 con Matriz O/D Estimada	6	7	33	34	D30
A (ida, pax/h)	108	1240	819	219	937
T (vuelta, pax/h)	190	704	949	141	779
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	298	1944	1768	360	1716
TOTAL Diario (pax/día)	3725	24298	22097	4498	21450

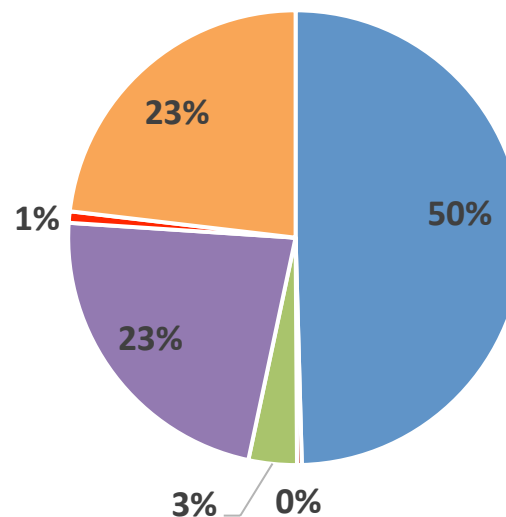
TRAM	LÍNEA (validaciones)
ESCENARIO 2 con Matriz O/D Estimada	tranvía DIAGONAL
A (ida, pax/h)	-
T (vuelta, pax/h)	-
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	-
TOTAL Diario (pax/día)	-

Velocidad comercial	
Bus	10,5 km/h

Espaciamento paradas	
Bus	341 m

Intervalo de paso	
D30	5 min
6	9 min
7	8 min
33	5,9 min
34	6,5 min

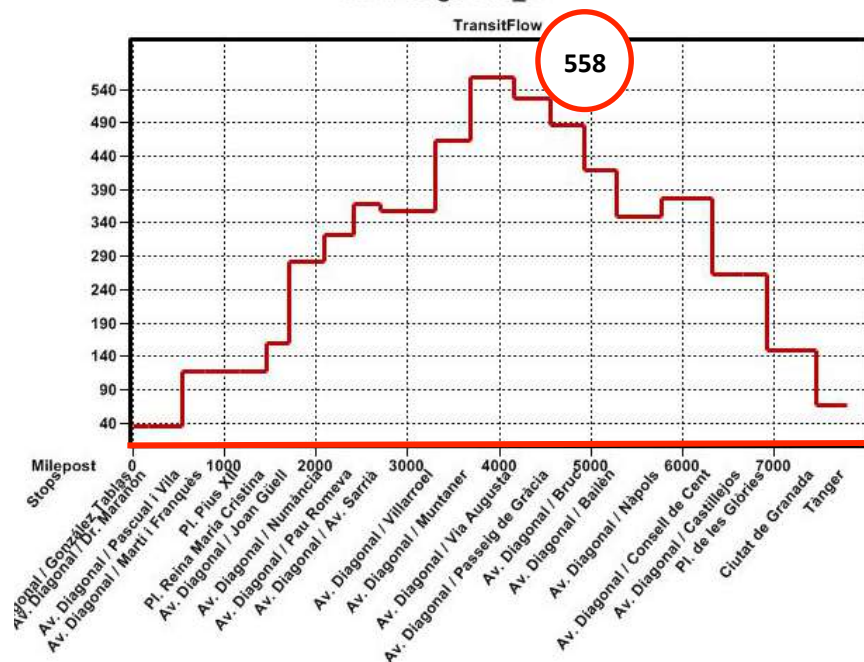
REPARTO MODAL ESCENARIO 2



RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 2. PATRONES DE CARGA LÍNEA D30

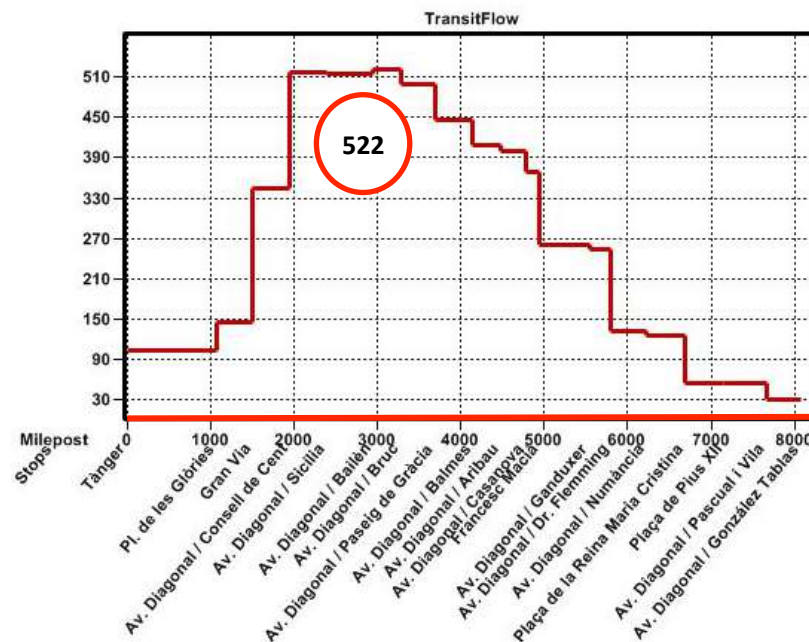
Perfil carga D30_A



TRAMO
PERTENECIENTE A LA
AV. DIAGONAL

CARGA MÁXIMA

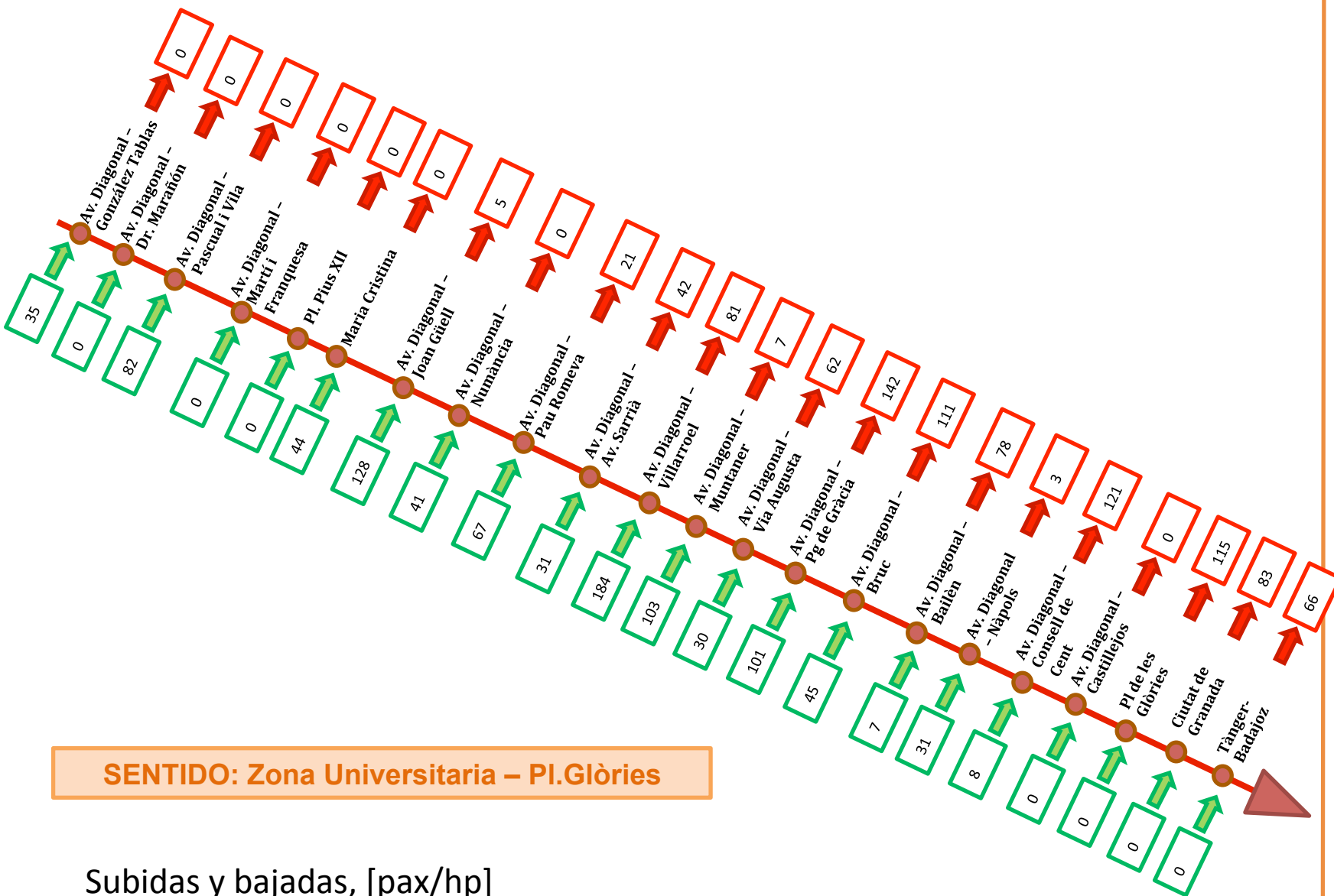
Perfil carga D30_T



VALIDACIONES HORA
PUNTA [pax/hp]

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

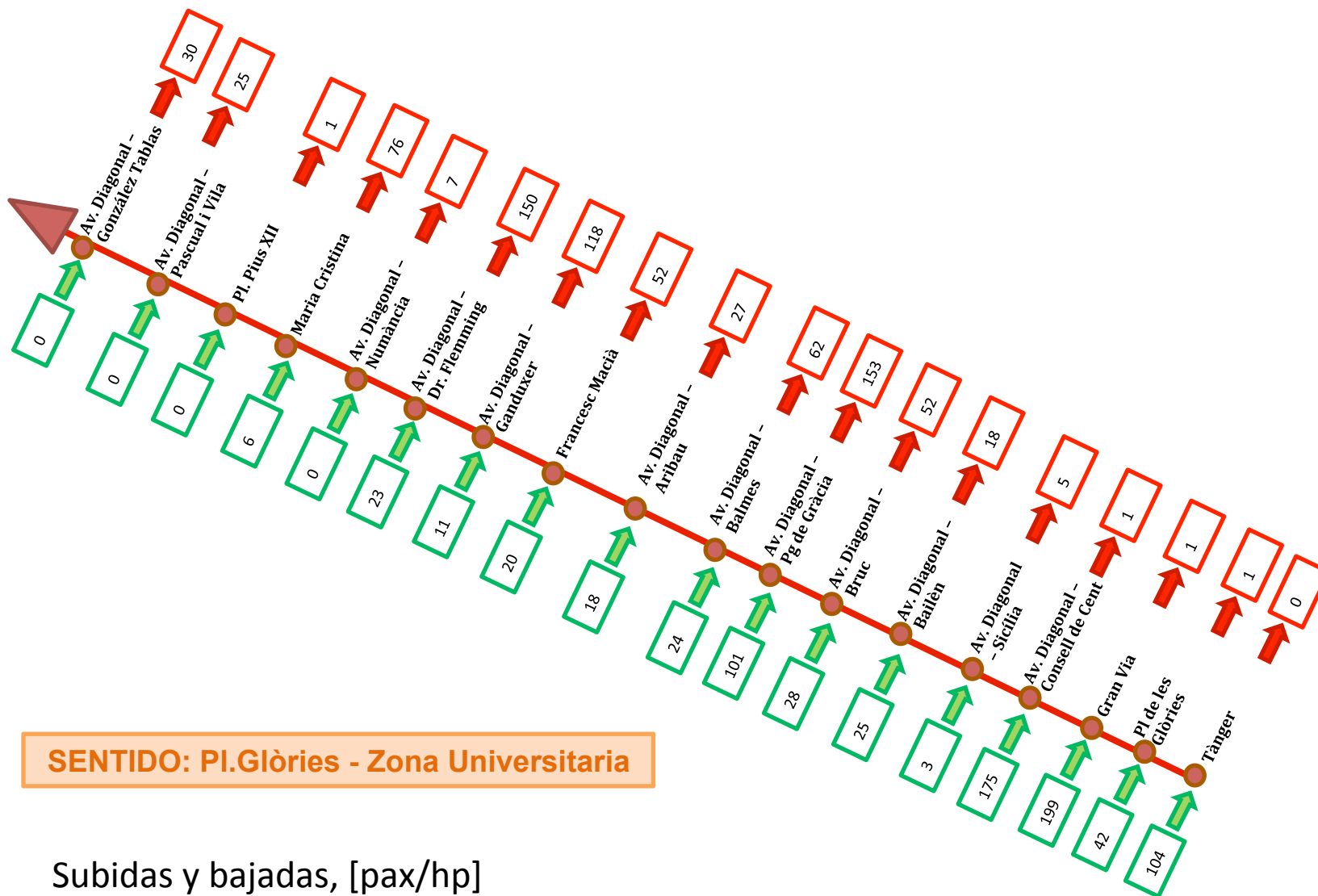
Escenario 2. VALIDACIONES HP D-30



Subidas y bajadas, [pax/hp]

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

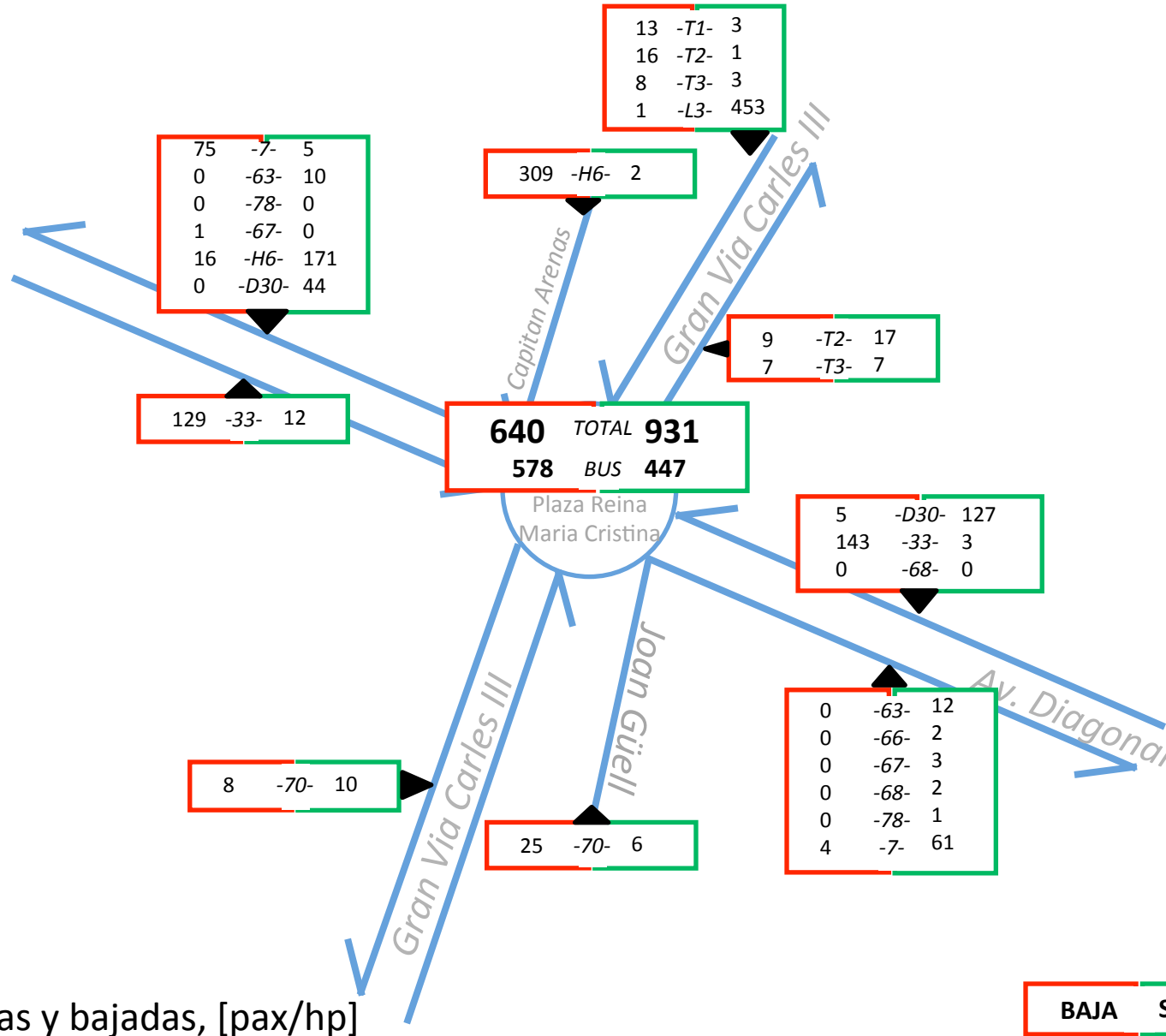
Escenario 2. VALIDACIONES HP D-30



Subidas y bajadas, [pax/hp]

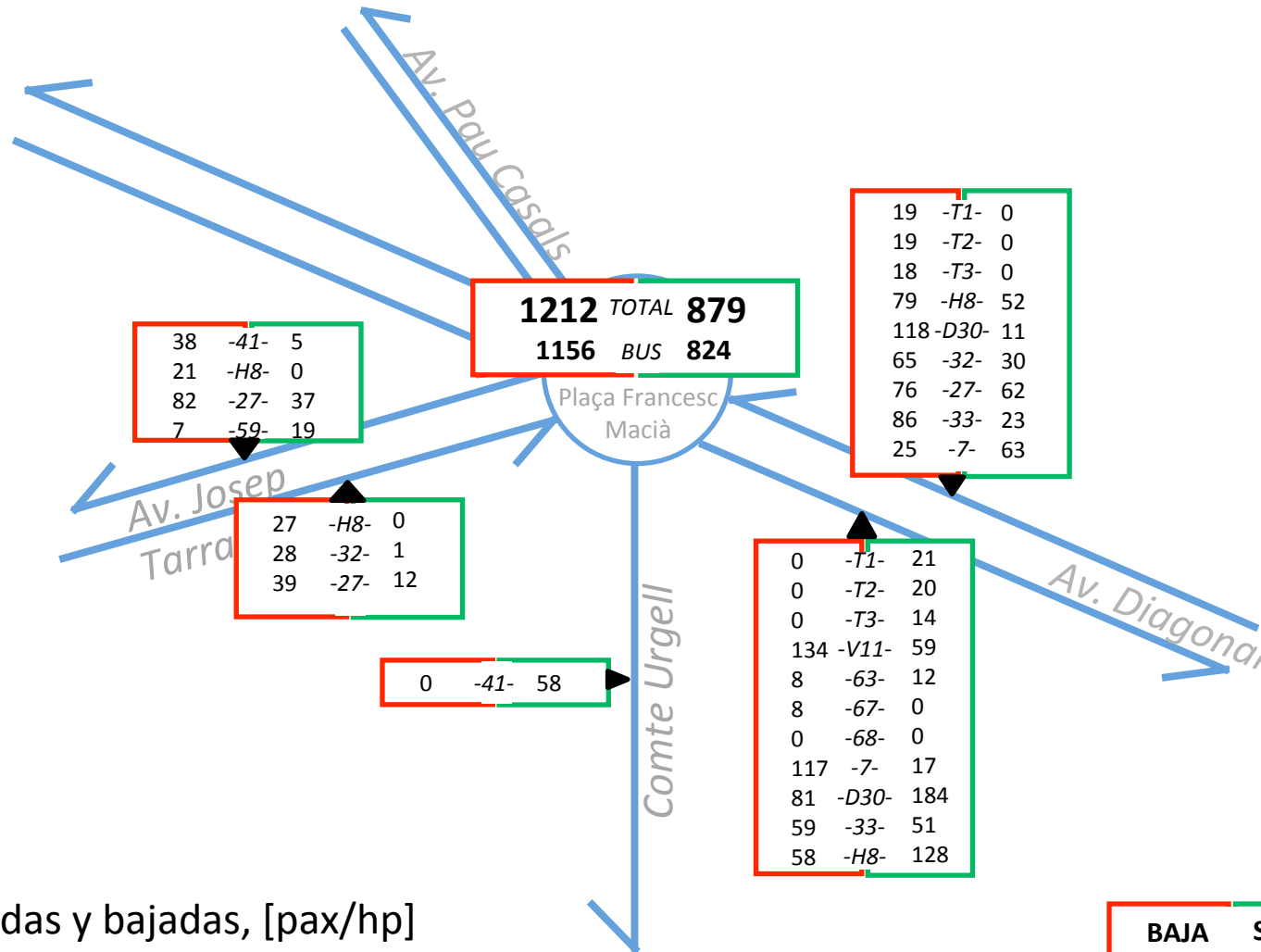
RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Continuidad nodos – Maria Cristina



RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Continuidad nodos – Francesc Macià

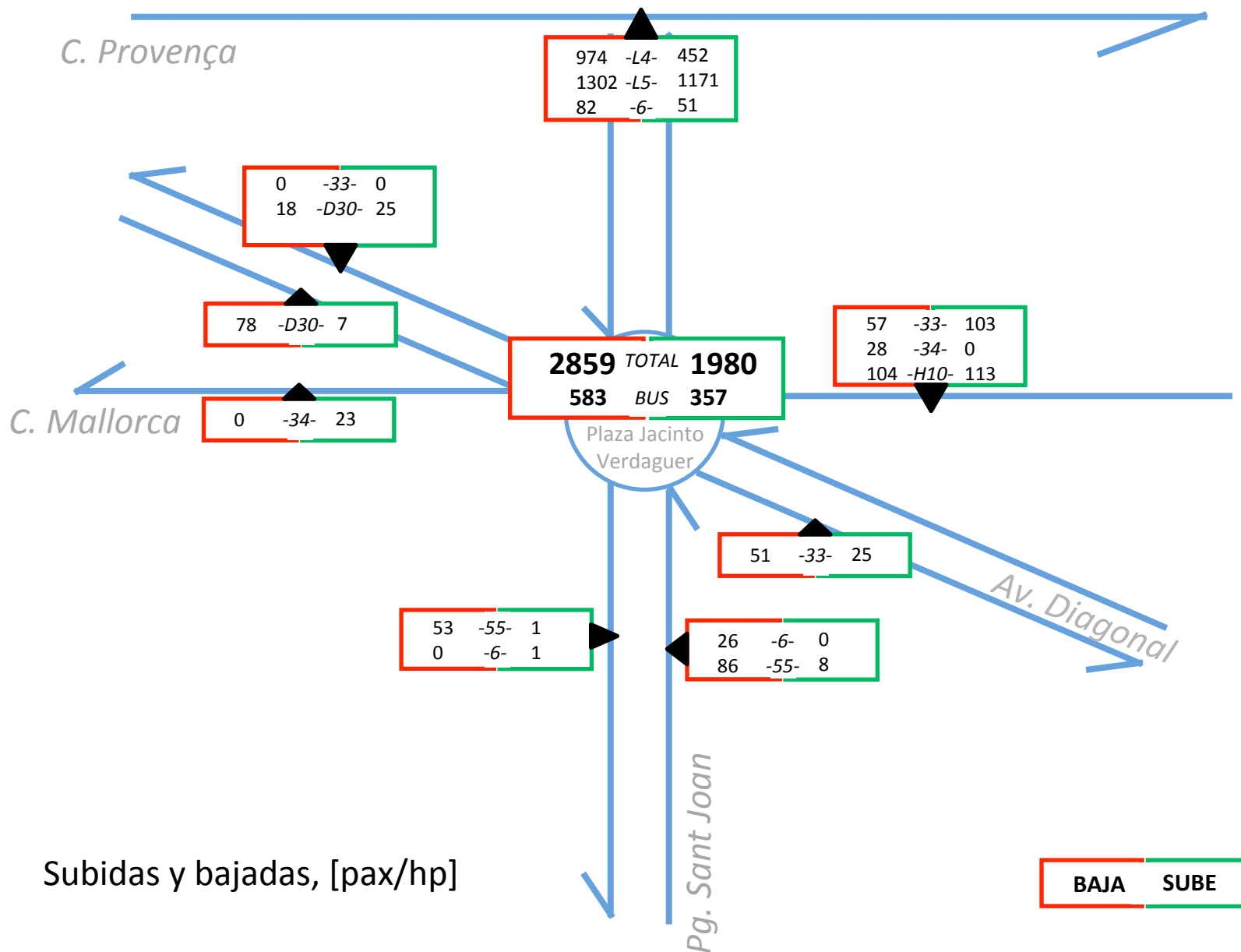


Subidas y bajadas, [pax/hp]

BAJA SUBE

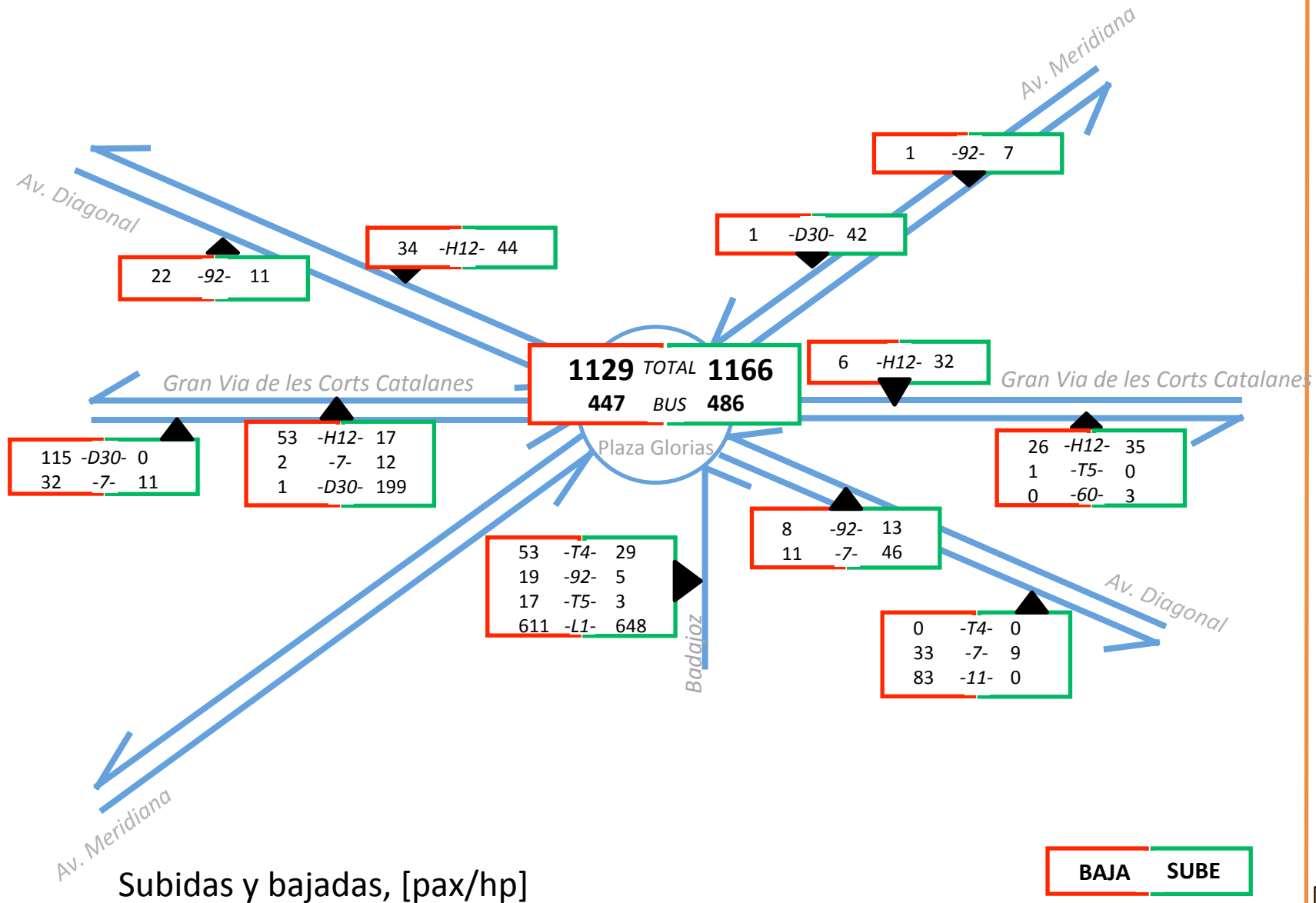
RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Continuidad nodos – Jacint Verdaguer



RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Continuidad nodos – Plaza Glorias



RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 2. OPERATIVA POR LÍNEA

Propuesta CENIT : 7 biarticulada

#Línea	Distancia ida+vueltas (km)	Intervalo HP (min)	Velocidad comercial (km/h)	Tiempo descanso en cada extremo de línea (por cada 10 km=5min)(min)	Tiempo de ciclo en ruta (min)	Tiempo ciclo total (min)	#vehículos
6	8,03	9,0	10,7	4,02	45,03	53,06	5,90
7	18,35	8,0	10,7	10,78	120,84	142,39	17,91
33	22,21	5,9	10,7	11,11	124,54	146,75	24,96
34	12,59	6,5	10,7	6,30	70,60	83,19	12,80
D30	15,87	5,0	10,7	7,94	88,99	104,86	20,97

#Línea	#vehículos	Capacidad por vehículos (pax/veh)	Esponjamiento	Capacidad arco crítico (pax/HP)	Demanda HP (pax/HP)	Demanda arco crítico HP (pax/HP)	Ocupación arco crítico HP (%)
6	6	80	0,9	480	298	117	24,38%
7	18	160	0,9	1087	1944	797	73,34%
33	25	120	0,9	1102	1768	485	44,01%
34	13	80	0,9	665	360	100	15,05%
D30	21	120	0,9	1296	1716	558	43,06%
TOTAL	83			4629	6085		39,96%

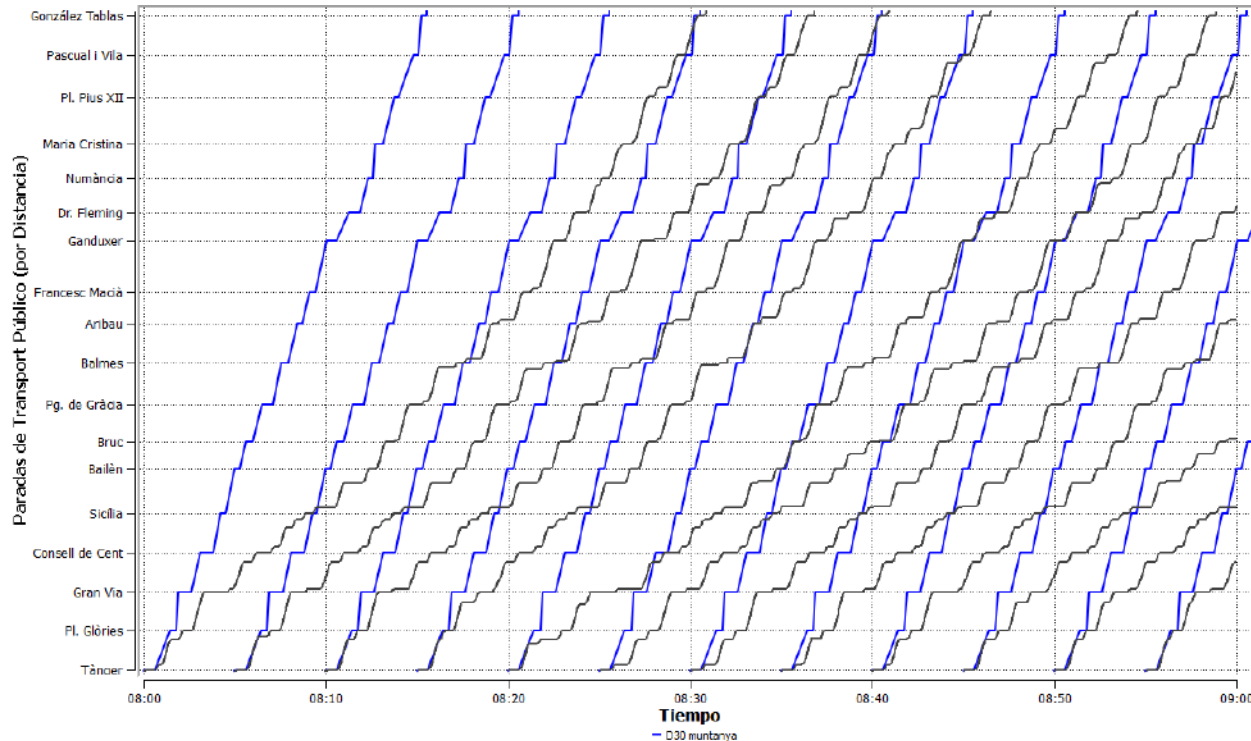
CONCLUSIONES ESCENARIO 2

PROPUESTA CENIT : 7 BIARTICULADA

- Con dicha oferta de servicio la demanda estimada de la línea D30 en cada sentido será de:
 - Z.Universitaria-Pl.Glòries: 937 pax/HP → 11713 pax/día
 - Pl-Glòries-Z.Universitaria: 779 pax/HP → 9738 pax/día
- Bajo una demanda total de **21451 pasajeros al día** con una oferta en hora punta de 21 autobuses de 108 plazas operativas cada uno, la **ocupación en hora punta será del 43%**.
- La propuesta **CENIT 5** que toma la línea 7 biarticulada debe introducir **18 nuevos vehículos biarticulados**, lo que supone un número sensiblemente **menor** a los 25 de la propuesta **CENIT 4** sin perder en gran medida capacidad de los arcos críticos.
- Observamos que la **ocupación media** se mantiene en valores admisibles (**40%**), reduciéndose respecto los casos anteriores, y lo que es más importante: la **ocupación** de la **línea 7** se **relaja** tomando valores del **73%**.
- Dicha propuesta **facilita** la **regularidad** manteniendo los **ratios** de **ocupación** en valores **admisibles**. Permite además **reducir** el número de **vehículos** hasta **83** manteniendo servicio. Además, referido a las otras propuestas, **aumenta** ligeramente la **demand**a en hora punta.
- Valorando los aspectos positivos que presenta la **propuesta CENIT 5: 7 biarticulada**, se recomienda su evaluación e implementación para una mayor eficiencia en términos operacionales del corredor.

CONTROL DE LA REGULARIDAD

- Una vez tenemos la demanda así como las características de las diferentes líneas de transporte público podemos proceder con el análisis de su regularidad mediante el uso del programa de micro simulación AIMSUN.
- En él podremos tener en cuenta las metodologías de control de regularidad como los tiempos en cabecera, los *holding points*, prioridad de las líneas de autobús en los cruces así como el carácter de bus eléctrico con sus respectivas recargas de la línea D30.



- Comparativa de las trayectorias de la línea D30 sentido montaña con y sin control semafórico.

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 3. Validaciones de las principales líneas afectadas

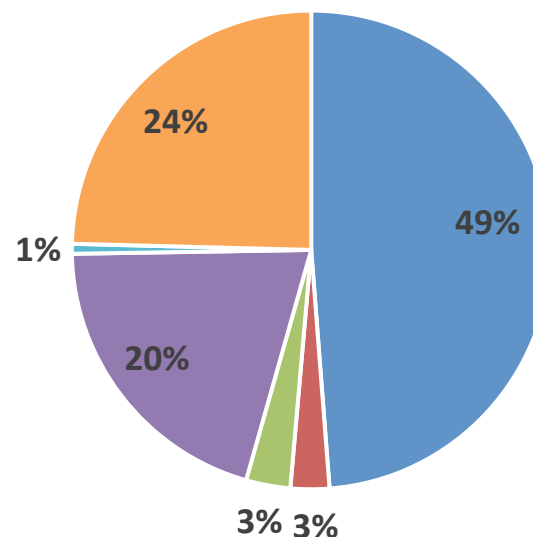
BUS	LÍNEA (validaciones)				
ESCENARIO 3 con Matriz O/D Estimada	6	7	33	34	D30
A (ida, pax/h)	143	-	145	214	-
T (vuelta, pax/h)	267	-	183	215	-
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	409	-	328	429	-
TOTAL Diario (pax/día)	5116	-	4104	5365	-

TRAM	LÍNEA (validaciones)
ESCENARIO 3 con Matriz O/D Estimada	tranvía DIAGONAL
A (ida, pax/h)	1198
T (vuelta, pax/h)	1117
TOTAL HoraPunta 8% (pax/h)	2315
TOTAL Diario (pax/día)	28932

Velocidad comercial	
Bus	10,5 km/h
tranvía diagonal	17,5 km/h

Espaciamiento paradas	
Bus	341 m
tranvía diagonal	547 m

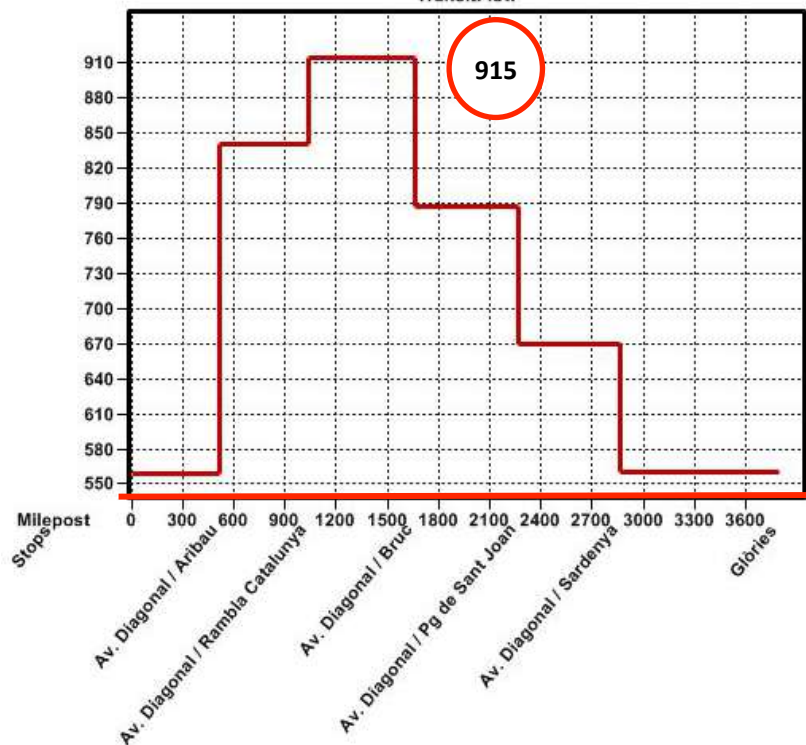
Intervalo de paso	
tranvía Diagonal	4 min
6	9 min
33	5,9 min
34	6,5 min



REPARTO MODAL ESCENARIO 3.1.

Prefil carga T30_A

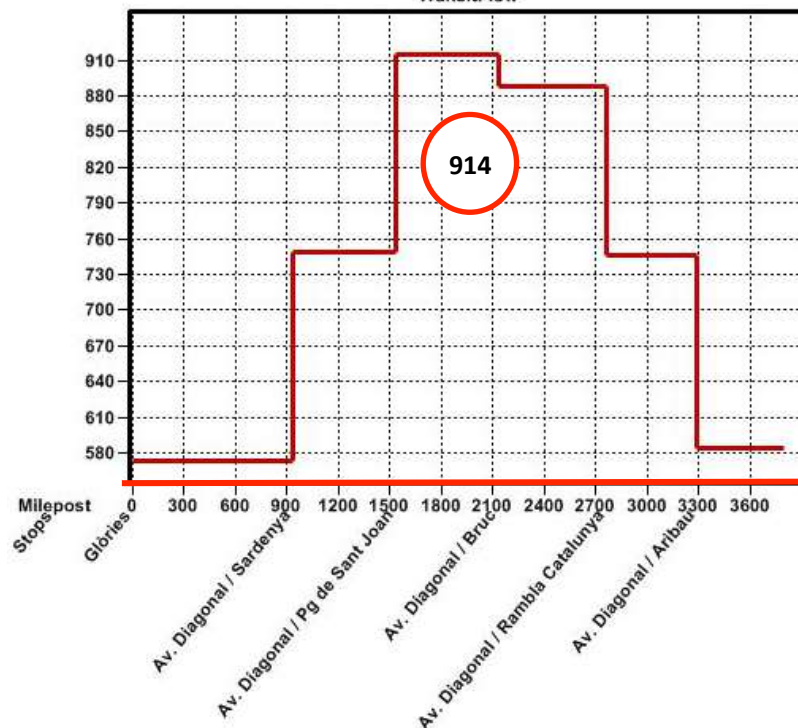
TransitFlow



TRAMO
PERTENECIENTE A LA
AV. DIAGONAL

Prefil carga T30_T

TransitFlow



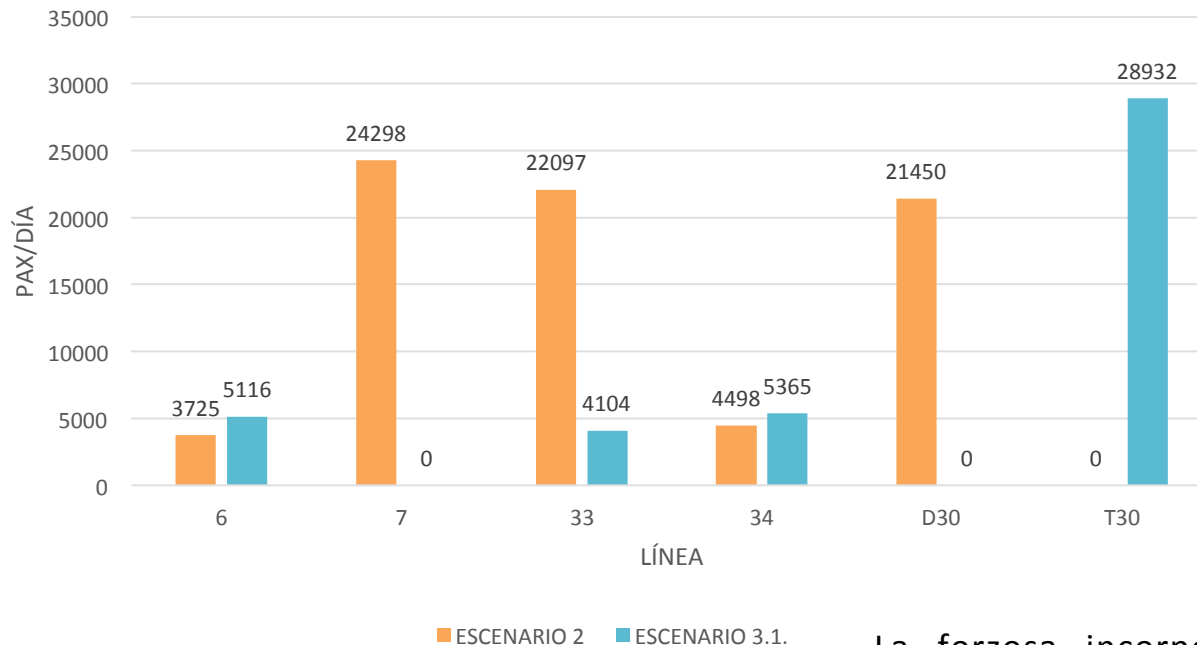
CARGA MÁXIMA

VALIDACIONES HORA
PUNTA [pax/hp]

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 3. COMPARACIÓN ENTRE E2 Y E3

VALIDACIONES DIARIAS [PAX/DÍA]



LÍNEA (pax/día)

6		7		33		34		D30		tranvía Diagonal	
E2	E 3.1	E2	E 3.1	E2	E 3.1	E2	E 3.1	E2	E 3.1	E2	E 3.1
3725	5116	24298	0	22097	4104	4498	5365	21450	0	0	28932

La forzosa incorporación del tranvía Diagonal debería comportar una reestructuración de las líneas que actualmente circulan por la avenida, **eliminando las líneas 7 y 33** (escenario 3.1.). Se observa que bajo tales condiciones el aumento de la demanda es de unos **8.000 pasajeros al día**.

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 4. Validaciones de las principales líneas afectadas

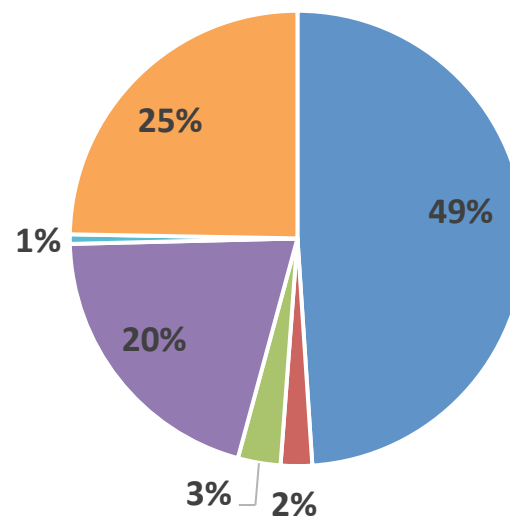
BUS	LÍNEA (validaciones)				
ESCENARIO 4 con Matriz O/D Estimada	6	7	33	34	D30
A (ida, pax/h)	145	-	186	214	-
T (vuelta, pax/h)	273	-	145	215	-
TOTAL Hora Punta 8% (pax/h)	418	-	331	429	-
TOTAL Diario (pax/día)	5221	-	4135	5364	-

TRAM	LÍNEA (validaciones)
ESCENARIO 4 con Matriz O/D Estimada	tranvía DIAGONAL
A (ida, pax/h)	995
T (vuelta, pax/h)	910
TOTAL Hora Punta 8% (pax/h)	1906
TOTAL Diario (pax/día)	23822

Velocidad comercial	
Bus	10,5 km/h
tranvía diagonal	15 km/h

Espaciamento paradas	
Bus	341 m
tranvía diagonal	547 m

Intervalo de paso	
tranvía diagonal	4 min
6	9 min
33	5,9 min
34	6,2 min

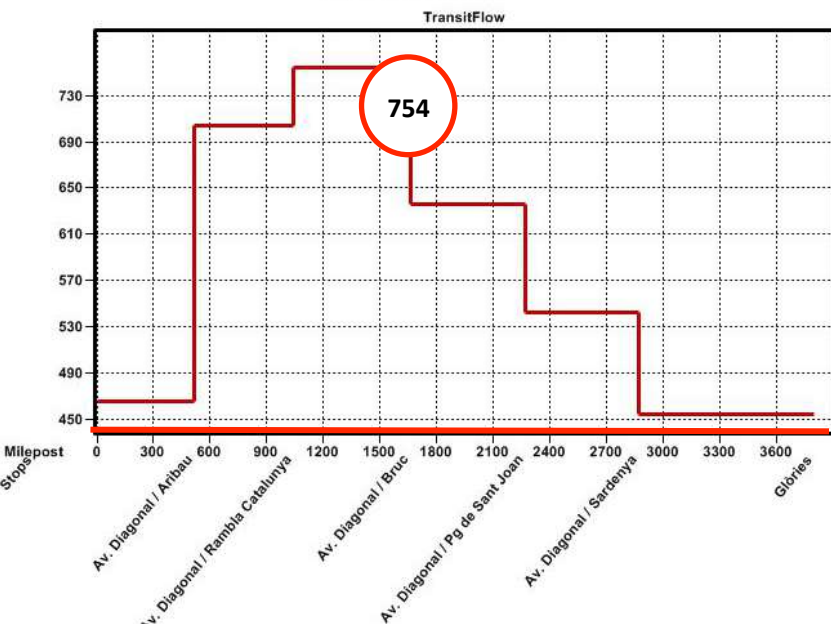


REPARTO MODAL ESCENARIO 4

RESULTADOS: VALORACIÓN DE ESCENARIOS

Escenario 4. PATRONES DE CARGA LÍNEA tranvía Diagonal

Perfil carga T30_A

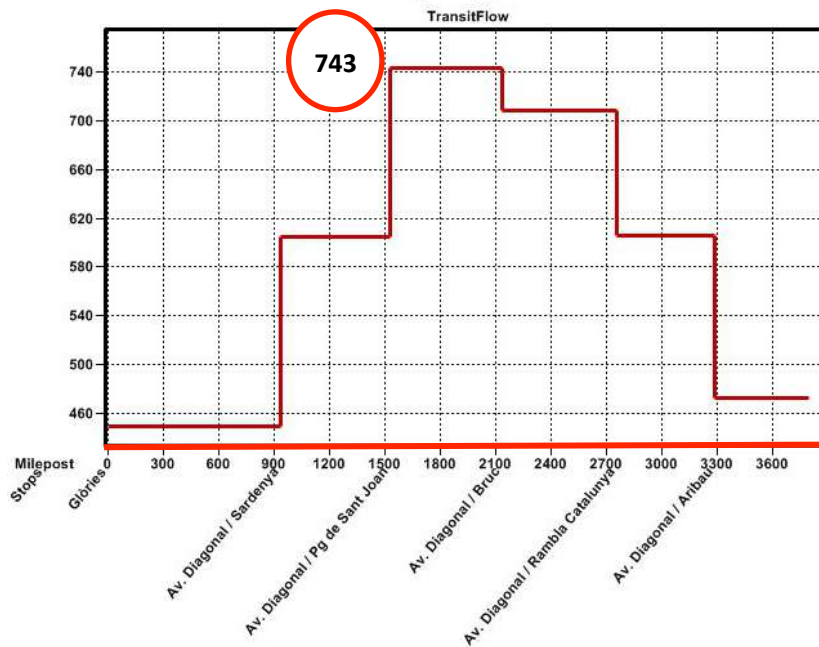


TRAMO
PERTENECIENTE A LA
AV. DIAGONAL

CARGA MÁXIMA

VALIDACIONES HORA
PUNTA [pax/hp]

Perfil carga T30_T



IMPLEMENTACIÓN D30

- El dimensionado del **autobús D30** que da servicio por la Diagonal es **robusto** y capaz de dar respuesta a la demanda del eje con una **holgura** que será suficiente para los **incrementos de la demanda** que se puedan dar; ya que en todo momento se ha supuesto una **velocidad inferior** a la que realmente operarán los autobuses (10,5 km/h).
- La **demanda global** en el corredor es satisfactoria en comparación al escenario actual.
- Los **recursos** se han readaptado de una manera adecuada, cambiando intervalos y reestructurando las líneas 6, 33 y 34 de la avenida.

IMPLEMENTACIÓN TRANVÍA Diagonal

- El estudio ha mostrado que el **bajo aumento de la demanda** que supone la línea de tranvía en la Diagonal (tranvía Diagonal) no justifica la **gran inversión** que éste requiere.
- No obstante, se ha estudiado también la implementación “forzosa” del tranvía con la debida reestructuración de las líneas de la Diagonal (6, 33 y 34), aumentando la demanda captada por el tranvía para ver su efecto sobre la demanda global del corredor.
- La implementación del tranvía Diagonal no es solo la menos preferida en base al balance económico, sino que también a **nivel operativo**, pues el tranvía afecta en mayor cantidad y más restrictivamente al tránsito, aumentando la **congestión** y produciendo un **balance medioambiental negativo**.
- Concluir con que en un futuro será necesario desarrollar el diseño de la línea D30 de una manera más detallada no sólo en base a la demanda, sino a los aspectos operativos (funcionamiento y logística de los autobuses eléctricos).

Racionalización del servicio de bus en la Av. Diagonal, en el marco de la Nueva Red de Autobuses. Proyecto D30

ZeEUS (Zero Emission Urban Bus System)



Direcció **C/. Jordi Girona, 1-3, C-3, S-120**
08034 Barcelona (Spain)
Teléfono **(+34) 93 413 76 67**
Web **www.cenit.cat**
Contacto **miquel.estrada@upc.edu**
carles.amat@upc.edu
victor.cuevas.perez@upc.edu