

2. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD

En este capítulo se dedica un primer apartado a describir muy brevemente el cálculo de la capacidad que propone el Highway Capacity Manual para las intersecciones semaforizadas, para pasar posteriormente a describir los procesos utilizados en esta tesina para llegar a determinar la capacidad de un tramo a partir de la relación fundamental del tráfico y las intensidades reales registradas en Barcelona.

2.1. CAPACIDAD DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS SEGÚN HCM 2000

El método de cálculo de la capacidad más conocido y utilizado es el expuesto en el Highway Capacity Manual preparado en Estados Unidos por el Transportation Research Board. Este método está basado en estudios realizados en este país desde 1935 y ha sido objeto de cinco ediciones, la última en el año 2000. Aunque algunos países han desarrollado métodos de cálculo de la capacidad con técnicas diferentes, en otros muchos (entre ellos España), se ha empleado el manual americano con las modificaciones que la experiencia ha ido aconsejando para su adaptación a las circunstancias locales.

El Highway Capacity Manual, en su versión del año 2000, define los siguientes conceptos:

V : Duración de la fase verde (se permite el paso de vehículos) [seg]

R : Duración de la fase roja (no se permite el paso de vehículos) [seg]

T : Ciclo del semáforo = $V + R$ [seg]

Mientras el semáforo esté en su fase de verde podrá pasar por el acceso un número máximo de vehículos hora, que constituye lo que se denomina **intensidad de saturación**.

Multiplicando esta intensidad de saturación por la relación entre la duración de la fase de verde y la del ciclo se obtiene el máximo número de vehículos que pueden pasar en una hora (**capacidad**).

$$C = S \cdot \frac{V}{T} \quad \text{siendo} \quad C : \text{Capacidad (vehículos/hora)}$$

S : Intensidad de saturación (vehículos/hora)

V : Duración de la fase de verde (segundos)

T : Duración del ciclo (segundos)

Si en un tramo existen carriles reservados para determinados movimientos, como giros a la izquierda o a la derecha, se estudian separadamente de los demás carriles del acceso. Se forman así dentro de un mismo tramo varios grupos de carriles que se analizan separadamente. El procedimiento para el cálculo de la intensidad de saturación para cada grupo es el siguiente :

$$S = 1900 N f_a f_{vp} f_i f_e f_b f_z f_{gd} f_{gl} \quad \text{siendo} \quad S : \text{Intensidad de saturación (vehículos/hora)}$$

N : Número de carriles

$f_a, f_{vp}, f_i, f_e, f_b, f_z, f_{gd}, f_{gl}$: Factores de corrección

Factores de corrección			
f	Corrección por	Fórmula	Variable
f_a	Anchura del carril	$(5,4+A)/9$	A : anchura del carril (m)
f_{vp}	Vehículos pesados	$100/(100+P)$	P : Porcentaje de pesados (%)
f_i	Inclinación de la rasante	$1-I/100$	I : Inclinación de la rasante
f_e	Estacionamiento	$1-(0.1+M/20)/N$	M : Movimientos de estacionamiento en una hora
f_b	Paradas autobús	$1-B/(250N)$	B : Autobuses que paran por hora
f_z	Situación	$(0,9-1)$	En centro urbano 0,9, en otras zonas 1
f_{gd}	Giros a la derecha	$1 - 0.15P$	P : Proporción de vehículos que giran a la derecha
f_{gl}	Giros a la izquierda	$1/(1+0.05P)$	P : Proporción de vehículos que giran a la izquierda

Tabla 2.1. Factores de corrección para el cálculo de la intensidad de saturación. Fuente : HCM 2000

A pesar que no se disponen de los datos necesarios para la validación del modelo, si que es cierto que se encuentran a faltar parámetros como la presencia o no de carril bus o la consideración de las paradas en doble fila.

2.2. CAPACIDAD A PARTIR DE LA RELACIÓN FUNDAMENTAL DEL TRÁFICO.

Para el estudio del tráfico se emplea una serie de magnitudes que recogen los aspectos más importantes del mismo. Entre ellas están la intensidad, la densidad, la velocidad media, la separación entre vehículos sucesivos, el tiempo de recorrido, etc. Entre todas estas variables existen una serie de relaciones tal y como se recoge en el Manual de capacidad (nombre que se le da en España al Highway Capacity Manual).

El hecho de considerar que los procedimientos que recoge dicho manual para el cálculo de intersecciones semaforizadas es poco adecuado para una ciudad como Barcelona con un número elevado de operaciones de carga/descarga ilegal, no ha de suponer que no se recurra a él para el análisis de tantos otros aspectos relacionados con los estudios del tráfico. El Manual de capacidad lleva más de 65 años recopilando todo tipo de datos y por lo tanto, parece fuera de toda discusión la validez de las relaciones que propone entre las distintas variables del tráfico.

A continuación se analizan algunas de estas variables del tráfico y la relación existente entre ellas, que permiten obtener el valor de la capacidad.

2.2.1. INTENSIDAD DE TRÁFICO

Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora (intensidad horaria) y vehículos/día (intensidad diaria). Es la característica más importante de la circulación, ya que las demás están relacionadas con ella y proporciona una descripción muy intuitiva del comportamiento del tráfico en cada momento.

Generalmente el período de medida se extiende a un año y la intensidad media diaria (IMD) es la magnitud más utilizada para caracterizar a cualquier vía. Se define como el número total de vehículos que atraviesan una sección en un año dividido por 365 días.

La intensidad de tráfico en cualquier vía varía a lo largo del tiempo siguiendo una ley que puede considerarse formada por una tendencia a largo plazo a la que se superponen unas oscilaciones cíclicas (anuales, semanales y diarias) y unas variaciones puramente aleatorias. Aunque la forma y magnitud de estas oscilaciones varían de unas carreteras a otras, el fenómeno es análogo en todas ellas y puede estudiarse por separado las características de estas fluctuaciones en la intensidad de tráfico.

En relación a la tendencia a largo plazo, se trata de una tendencia creciente que considerando un periodo relativamente corto, de por ejemplo 5 años, puede suponerse una tasa de crecimiento del tránsito constante por lo que las IMD anuales forman una progresión geométrica. En periodos más largos, la tasa de crecimiento puede presentar variaciones importantes por lo que la aproximación no sería aceptable. Finalmente, destacar que en zonas de regresión económica o en épocas de crisis económica esta tendencia no será creciente sino todo lo contrario.

Las oscilaciones anuales de la intensidad pueden observarse a través de las intensidades medias diarias de cada uno de los doce meses. En general las carreteras presentan mayor intensidad durante los meses de verano. Este aumento es mucho más notable en zonas turísticas y menos apreciable en zonas industriales. Sin embargo, en el caso una gran ciudad como Barcelona, la tendencia es distinta pues el tráfico es prácticamente constante durante todo el año y experimenta una disminución apreciable en los meses de verano, especialmente agosto.

Si nos centramos en las variaciones semanales de la intensidad, generalmente la intensidad en días laborables es mayor que en los festivos. Tan solo en carreteras de tipo turístico la intensidad en días festivos supera a la de los días laborables.

A partir de las intensidades horarias, se pueden obtener las variaciones a lo largo del día. Las intensidades de noche son lógicamente menores que las diurnas.

Para llevar a cabo esta tesina, se disponen de intensidades medias horarias registradas entre el 01 de marzo y el 31 de marzo, para días laborables y días festivos. La mayoría de los datos fueron registrados en 2003 aunque para determinados tramos, la información corresponde al mismo período del año 2004. Estas intensidades no permiten analizar las oscilaciones anuales de la intensidad aunque como ya se ha comentado anteriormente, en las grandes ciudades y entre ellas Barcelona, la intensidad se mantiene constante a lo largo de todo el año experimentando un descenso en los meses de verano, especialmente agosto. Las fluctuaciones que si son apreciables son las existentes entre un día laborable y un día festivo, además de la variación de la intensidad a lo largo de las 24 horas del día.

A continuación (figuras 2.1 a 2.3) se representan gráficamente las intensidades medias horarias en día laborable y en domingo, correspondientes a cuatro tramos incluidos en el estudio. A pesar que la magnitud y la forma varíe de unas a otras, esencialmente el comportamiento es similar y puede aplicarse por lo general a la mayoría de los tramos de la ciudad de Barcelona.

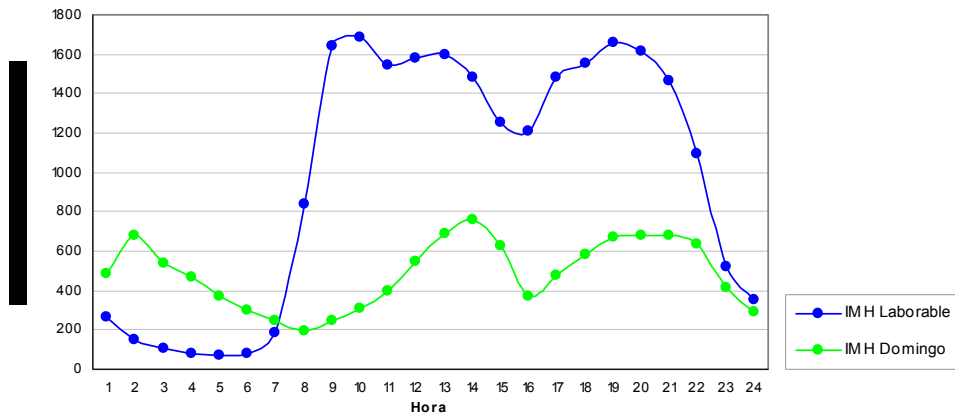


Figura 2.1. Intensidades medias horarias en día laborable y en domingo, en la calle Muntaner

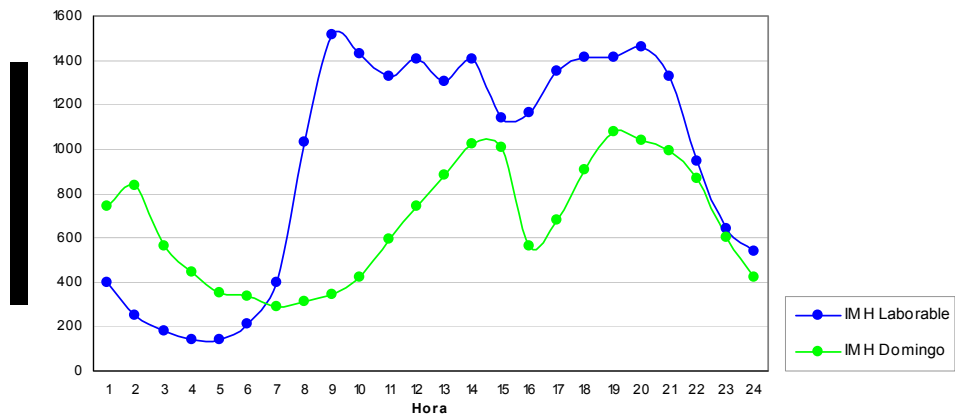


Figura 2.2. Intensidades medias horarias en día laborable y en domingo, en la calle Urgell

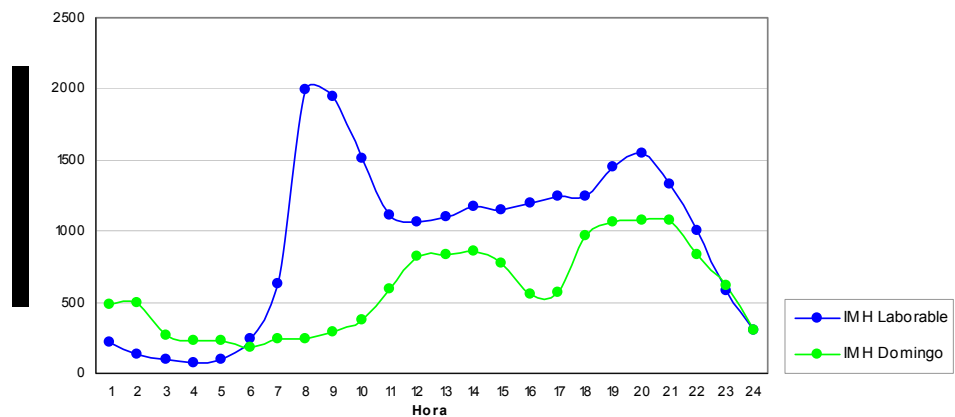


Figura 2.3. Intensidades medias horarias en día laborable y en domingo, en la calle Mallorca

Como el objetivo de este estudio es el de analizar la capacidad en función de una serie de parámetros, tomaremos como datos de referencia los registrados en días laborables, cuando la intensidad es mayor y por lo tanto, es más probable que se obtengan datos de intensidad que oscilen entorno a la capacidad de la vía.

Centrándose por lo tanto en la evolución de la intensidad se observan unas intensidades muy bajas durante toda la noche, con mínimos entre las 3 y las 5 de la madrugada. A partir de las 7 se inicia un brusco aumento de la intensidad que adquiere un valor máximo durante la mañana. Posteriormente, la intensidad disminuye sensiblemente durante el mediodía para volver a adquirir nuevamente un valor máximo por la tarde. A partir de las 22 horas, la intensidad experimenta un notable descenso. Se presentan por lo tanto dos puntas de intensidad; una por la mañana, coincidiendo normalmente con las horas en las que la gente se dirige a sus puestos de trabajo y otra por la tarde.

2.2.2. DENSIDAD DE TRÁFICO

Se denomina densidad del tráfico al número de vehículos que hay por unidad de longitud. Se puede obtener a través de una fotografía y contando los vehículos, pero raramente esta magnitud se mide directamente ya que es posible calcularla fácilmente a partir de medidas de intensidad y velocidad (magnitudes de las que resulta más sencillo obtener datos).

Existe un valor máximo de la densidad que se obtiene cuando todos los vehículos están parados en fila, sin huecos entre ellos. Esta densidad máxima será igual al producto de la inversa de la longitud media de los vehículos por el número de carriles. En estas condiciones, a los vehículos les resultaría imposible moverse incluso a pequeña velocidad sin chocar unos con otros.

La densidad del tráfico influye de forma directa en la calidad de la circulación, ya que al aumentar la densidad resulta más difícil mantener la velocidad que el conductor desea, y este se ve obligado a realizar un mayor número de maniobras (cambios de carril, aceleraciones, frenados, etc.), originando una conducción incómoda. Por lo tanto, con densidades muy bajas, la circulación puede considerarse fluida pero a medida que va aumentando y acercándose a su valor máximo, se circula a velocidades muy bajas con constante paradas y arranques.

2.2.3. VELOCIDAD

La velocidad conforma junto a la intensidad y la densidad, el grupo de las tres variables esenciales de cualquier estudio de tráfico y es fácil relacionarlas de manera que puede obtenerse una de ellas a partir de las otras dos.

Sin embargo, cuando se tratan problemas de zonas urbanas como es el caso de esta tesina, es frecuente que la velocidad de cada vehículo sufra grandes cambios durante el viaje, con constantes paradas y arrancadas por la presencia de intersecciones semaforizadas, señales de stop o ceda el paso y otros elementos como la carga y descarga o el estacionamiento de vehículos. En este caso, el conocimiento de las velocidades instantáneas es poco representativo y es más útil trabajar con velocidades medias de recorrido para estimar la calidad de la circulación.

A pesar que no se disponen datos de velocidades para la realización de esta tesina, se ha creído conveniente citarla por tratarse de una de las tres variables más características del tráfico y por estar relacionada con intensidad y densidad.

2.2.4. DIAGRAMA FUNDAMENTAL DEL TRÁFICO

Intensidad, velocidad y densidad se relacionan a partir de la relación fundamental del tráfico:

$$I = V_{me} \cdot D \quad \text{donde } V_{me} \text{ es la velocidad media espacial (velocidad media de todos los vehículos que en un instante determinado están dentro de un tramo de vía.)}$$

Sin embargo ya hemos visto que la velocidad es un elemento que resulta poco representativo en circulación urbana. Por lo tanto, se analiza la relación existente entre intensidad y densidad.

Cuando la densidad es nula, también lo será obviamente la intensidad. A medida que la densidad va aumentando por la presencia de más vehículos, igualmente irá aumentando la intensidad. Sin embargo esta relación no se mantiene siempre constante pues a partir de una determinada densidad los vehículos dejan de circular a la velocidad que desean y se producen una serie de interacciones entre los vehículos que disminuyen la fluidez y la calidad de la circulación. Superado un determinado valor de la densidad, la intensidad no solo deja de crecer sino que empieza a disminuir. Un progresivo aumento de

la densidad hasta su valor máximo, provocaría que todos los vehículos estuvieran detenidos con lo que la intensidad volvería a ser nula.

El valor máximo que adquiere la intensidad representa la capacidad de la vía y a la densidad correspondiente se le conoce como densidad crítica.

El rango de valores en el que la intensidad aumenta a medida que aumenta la densidad es representativo de un tráfico más o menos fluido en el que si se produce una pequeña perturbación que aumente momentáneamente la densidad, tiende a disiparse y volver a la situación anterior; se dice entonces que la circulación es estable. En contraposición, cuando la intensidad disminuye a medida que aumenta la densidad es señal de una circulación inestable en la que se producen constantemente paradas y arrancadas.

El diagrama que representa la intensidad en función de la densidad se conoce como diagrama fundamental del tráfico y en el puede obtenerse para cualquier punto la intensidad (ordenada), densidad (abcisa) y velocidad media (pendiente de la recta que une el punto con el origen)

A grandes rasgos y de una forma esquemática, el diagrama fundamental del tráfico podría representarse de la siguiente manera:

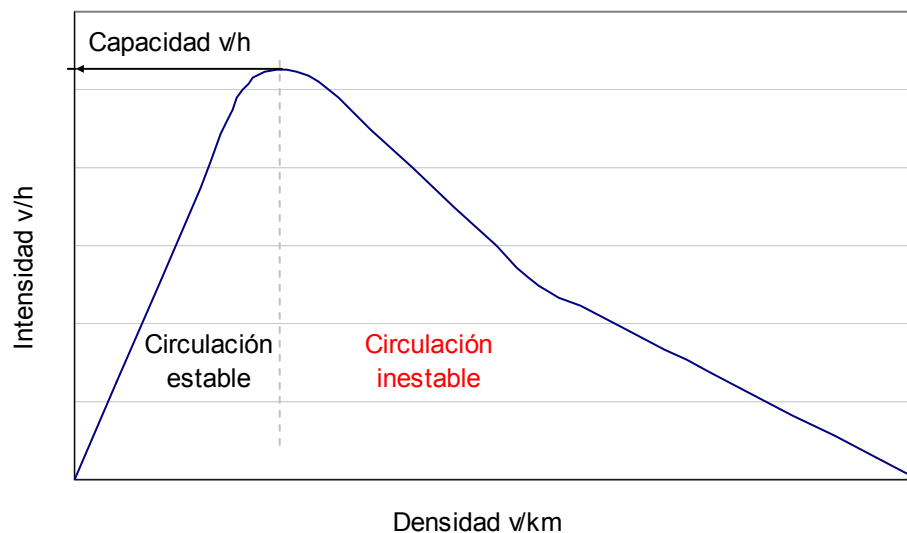


Figura 2.4. Diagrama fundamental del tráfico. Fuente: Highway Capacity Manual

Por lo tanto, disponiendo de una serie de datos de intensidad y la correspondiente densidad, podría llegar a determinarse la capacidad de una vía.

Esta relación entre las variables del tráfico, viene descrita en el Manual de capacidad para unas condiciones de tráfico continuo, es decir, sin interrupciones forzadas a la circulación. Por consiguiente, si los vehículos llegan a detenerse será por las propias circunstancias del tráfico y no a medidas exteriores como pueden ser las indicaciones de un semáforo o de una señal de stop o ceda el paso.

Sin embargo, los datos de los que se dispone para realizar esta tesis permiten asegurar que existe igualmente una relación similar aún estando en condiciones de circulación discontinua, con continuas paradas y arrancadas motivadas por la presencia de intersecciones semaforizadas.

2.2.5. DATOS DISPONIBLES PARA EL ESTUDIO

Hasta este punto, se ha hablado de la relación existente entre intensidad y densidad, que permitiría determinar la capacidad de una vía en caso de disponer de suficientes pares de puntos intensidad-densidad. Pero igualmente se ha comentado que la densidad es una variable que raras veces se determina directamente y que se suele recurrir a la relación fundamental del tráfico para determinarla a partir de la intensidad y la velocidad. Sin embargo, tampoco se dispone de datos de velocidad.

Para llevar a cabo el presente estudio se disponen de datos de intensidad y la correspondiente ocupación, proporcionados por el Ayuntamiento a través de la Agencia de Ecología Urbana.

El propio manual recoge que la ocupación es una variable estrechamente relacionada con la densidad y que puede definirse como la relación entre la longitud ocupada por los vehículos en un momento dado y la longitud total de los carriles disponibles. Por tanto, su valor sería igual a la densidad por la longitud media de los vehículos (medidas ambas en magnitudes homogéneas).

En la figura 2.5 se representa esquemáticamente un tramo de vía de 30 metros, con 3 carriles, ocupados por 8 vehículos de una longitud de 4,5 metros. En estas condiciones, la longitud ocupada por los vehículos es de $8 \cdot 4,5 = 36$ m., mientras que la longitud de carril disponible es de $3 \cdot 30 = 90$ m. La ocupación es por lo tanto de un 40 % ($36 / 90 = 0.4$)

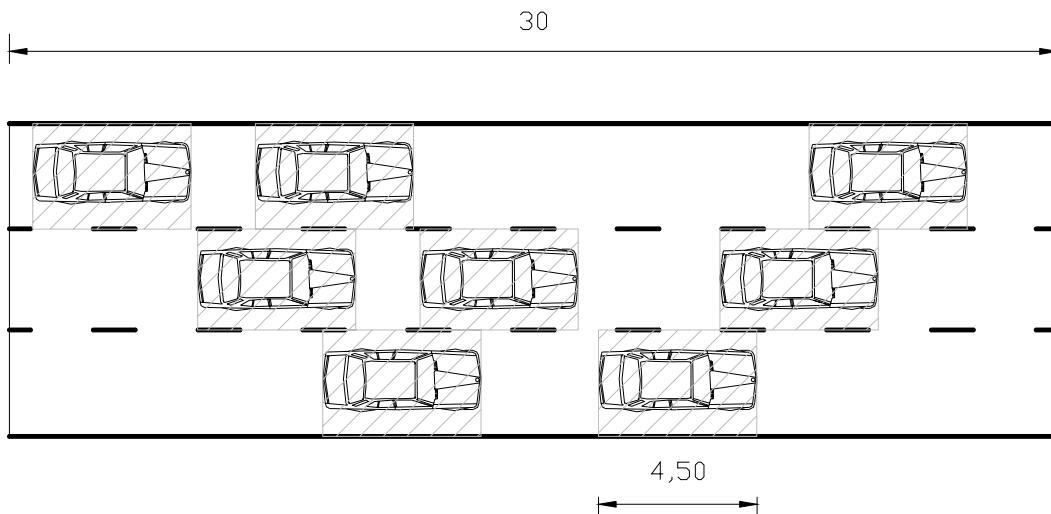


Figura 2.5. Representación esquemática de la ocupación.

La densidad de este tramo de vía es de $\frac{8veh.}{90m.} \cdot \frac{1000m.}{1km.} = 88.88veh/km.$, que si se multiplica por la longitud media de los vehículos (4,5 metros = 0,0045 Km.), se obtiene:

$$88.88veh/km. \cdot 0,0045 = 0.4 \text{ o lo que es lo mismo, un ocupación del } 40 \%$$

Queda claro entonces que ocupación y densidad están directamente relacionadas.

Sin embargo, la determinación de la ocupación como porcentaje de carril ocupado en relación a la longitud de carril disponible presenta las mismas dificultades que la determinación de la densidad, pues solo podría determinarse a través de fotografías.

Una medida que resulta más fácil determinar, es el porcentaje de tiempo que unos sensores instalados en la calzada detectan sobre ellos la presencia de un vehículo, en relación al tiempo total. Precisamente, ésta es la ocupación de la que se poseen datos para la elaboración del estudio y que a continuación, se intentará demostrar que es igualmente una magnitud válida para llegar a determinar la capacidad.

Si se supone que la velocidad de todos los vehículos es la misma en un determinado periodo de tiempo (suposición totalmente válida en ámbito urbano, en la que no existen grandes diferencias de velocidad de unos vehículos a otros), se está en condiciones de afirmar que la ocupación medida como el porcentaje de tiempo con el sensor ocupado por un vehículo en relación al tiempo total, y la ocupación medida como el

porcentaje de carril ocupado en relación al total de carril disponible, están directamente relacionadas.

Para una mejor comprensión de este fenómeno, se puede recurrir a un ejemplo que se describe a continuación:

Supóngase el caso de una cola continua de vehículos, que dejan entre ellos una separación exactamente igual a la longitud de un vehículo. En estas condiciones, la ocupación medida como longitud de carril ocupado en relación a la longitud de carril disponible es del 50%. Además, independientemente de si la cola avanza a mucha o poca velocidad, si todos ellos lo hacen manteniendo entre sí la misma separación constante, un sensor que detectara que porcentaje del tiempo esta siendo ocupado por un vehículo, proporcionaría ocupaciones igualmente del 50% del tiempo.

Lo que realmente permite afirmar la correlación entre la ocupación medida según tiempo o espacio, es el hecho que todos los vehículos avanzan a la misma velocidad, independientemente de si es una velocidad alta o baja. Y como ya se ha comentado, ésta es una suposición totalmente válida en el análisis de la circulación urbana.

Por consiguiente, los datos de ocupación de los que se dispone (% de tiempo con el sensor ocupado en relación al tiempo total), están directamente relacionados con la ocupación de carril (% de carril ocupado en relación al total de carril disponible) y por lo tanto, directamente relacionados con la densidad.

Se posee por lo tanto información de intensidades y ocupaciones, de las que se espera que tengan una relación similar a la existente entre intensidad y densidad. Representando gráficamente los datos, efectivamente se obtienen gráficos con la forma característica de la relación fundamental del tráfico.

A pesar que para cada tramo se obtienen unos gráficos distintos, se pueden agrupar en distintos grupos que corresponden a situaciones distintas del tráfico:

A. Tramos con intensidades superiores a la capacidad

B. Tramos con intensidades menores a la capacidad

B.1 Inicio lineal con tendencia a estabilizarse

B.2 Comportamiento lineal uniforme

A continuación se analizan cada uno de estos grupos.

En los tramos con **intensidades superiores a la capacidad (A)** se obtiene el siguiente tipo de gráfico:

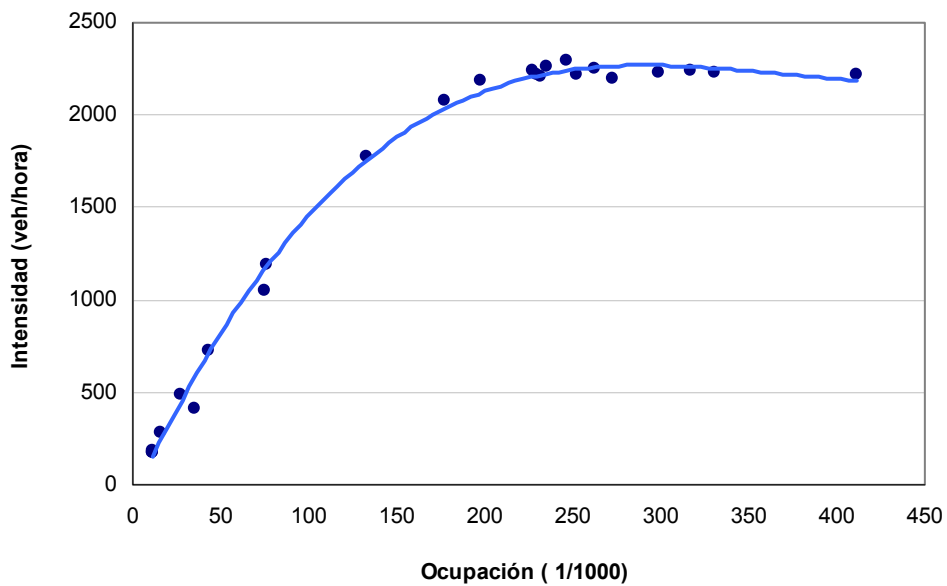


Figura 2.6. Curva intensidad ocupación de un día laborable en la calle St. Antoni Mª Claret a la altura de la calle Independencia

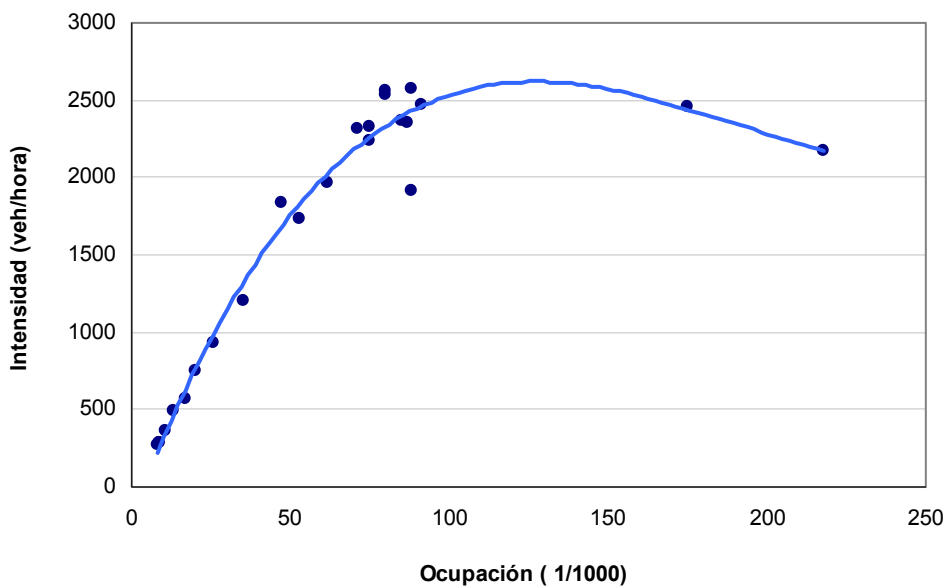


Figura 2.7. Curva intensidad ocupación de un día laborable en la Ronda Universitat

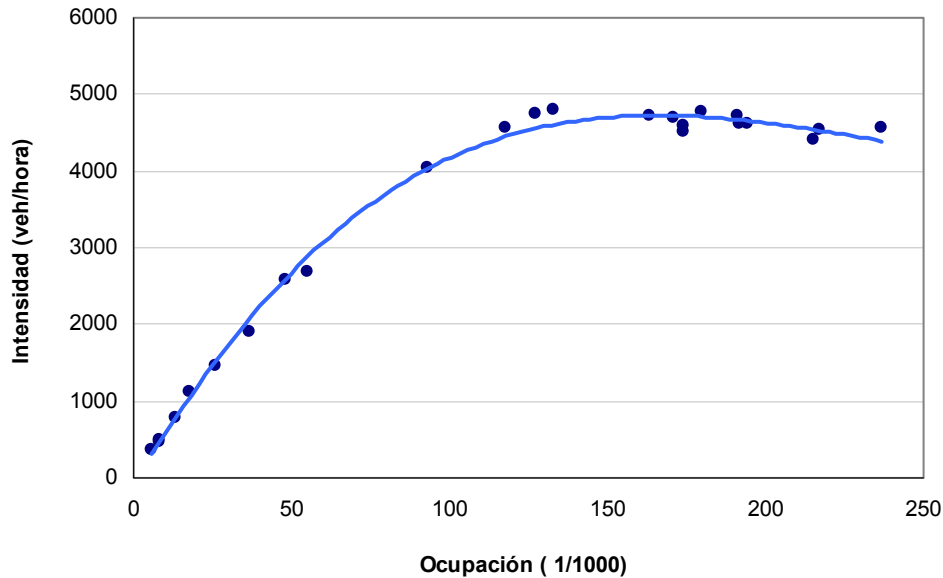


Figura 2.8. Curva intensidad ocupación de un día laborable en la calle Aragón a la altura de Rambla Catalunya.

Para realizar estos gráficos se han tomado los datos de intensidad y ocupación de un día laborable horaria (para las 24 horas del día), y se ha utilizado como curva de ajuste una curva polinomial de orden 3.

Los tramos que presentan este tipo de gráfico se caracterizan por ser tramos que en determinadas horas del día presentan una alta ocupación (y por lo tanto una alta densidad), de manera que el excesivo número de vehículos presentes en la calzada llegan a entorpecerse unos a otros. Por lo tanto, más presencia de vehículos no se traduce en un aumento de la intensidad sino todo lo contrario. Superado un cierto valor de la ocupación la intensidad empieza a disminuir.

Por consiguiente, en estos tramos se está en condiciones de conocer cual es su capacidad que equivale a la intensidad máxima que puede llegar a soportar la vía.

Pero no todos los tramos de los que se parte para realizar el estudio presentan este tipo de curva. Existen tramos con **intensidades inferiores a la capacidad (B)**, que a su vez se pueden dividir en dos grupos.

Los tramos de **inicio lineal con tendencia a estabilizarse (B.1)**, presentan el siguiente tipo de gráfico:

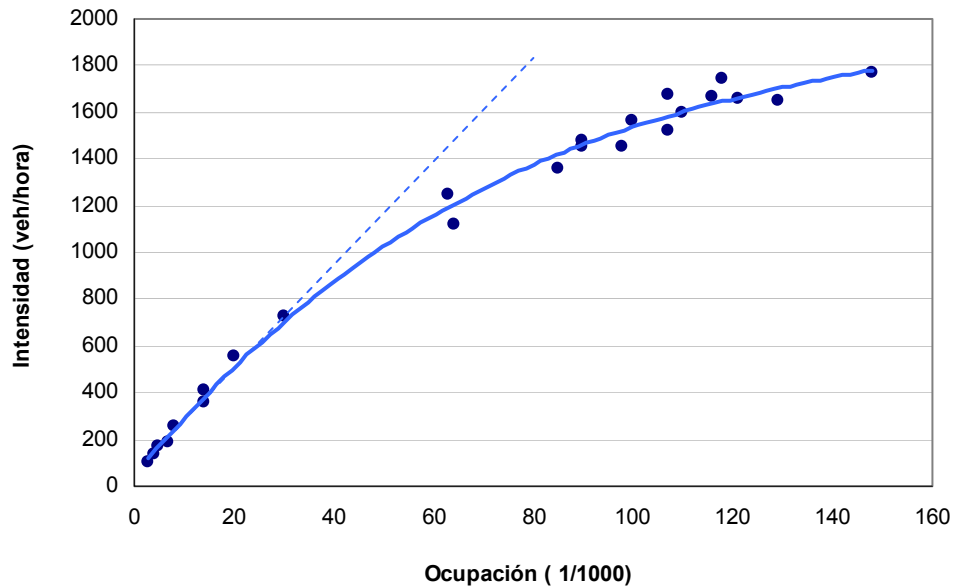


Figura 2.9. Curva intensidad ocupación de un día laborable en Travessera de les Corts a la altura de la calle Vilamur

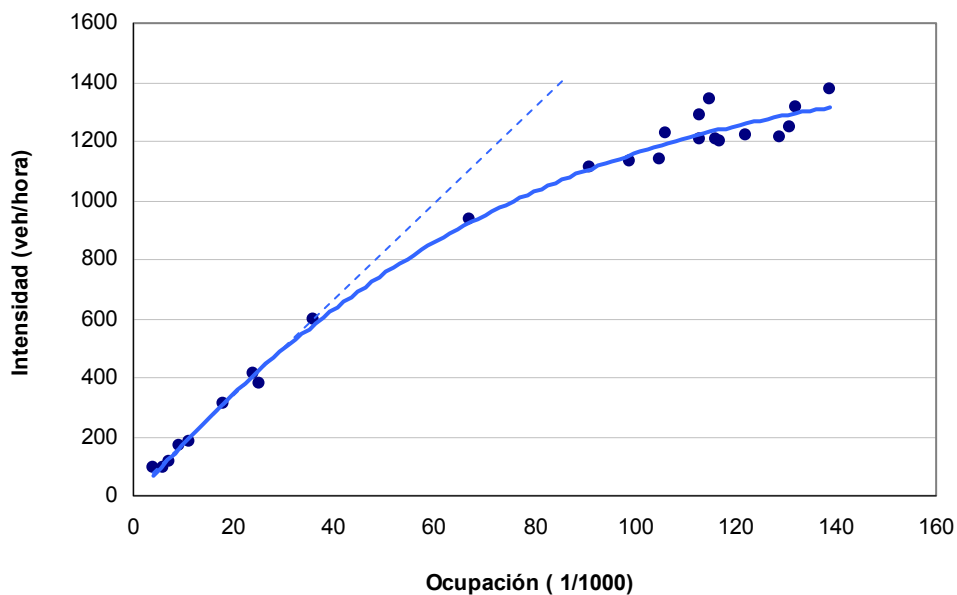


Figura 2.10. Curva intensidad ocupación de un día laborable en la calle Entença a la altura de Provença.

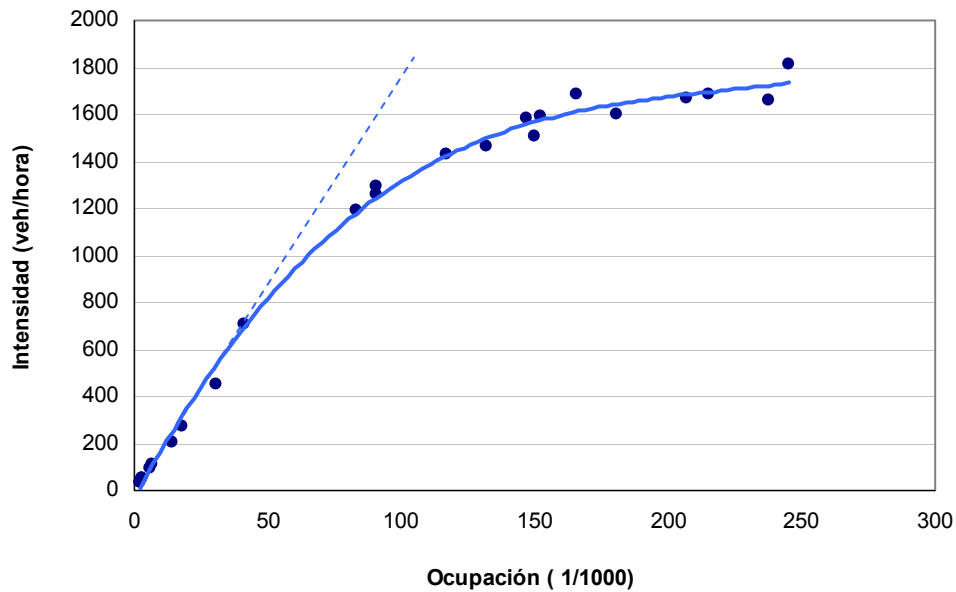


Figura 2.11. Curva intensidad ocupación de un día laborable en la Vía Augusta a la altura de la calle Amigó.

En los tramos que presentan este tipo de gráfico, se puede intuir que en determinadas horas del día se registran valores de intensidad que están próximos a la capacidad de la vía. Sin embargo, la curva no llega a ser horizontal y por lo tanto no se está en condiciones de asegurar que la intensidad se estabiliza.

Probablemente, un pequeño aumento de la ocupación sería suficiente para alcanzar la capacidad de la vía.

Son tramos de calle en los que se podría estimar con un error más o menos grande el valor de la capacidad.

Finalmente, aparecen una serie de tramos que presentan unos gráficos con un **comportamiento lineal uniforme (B.1)**. El tipo de gráfico que presentan estos tramos de calle es el siguiente:

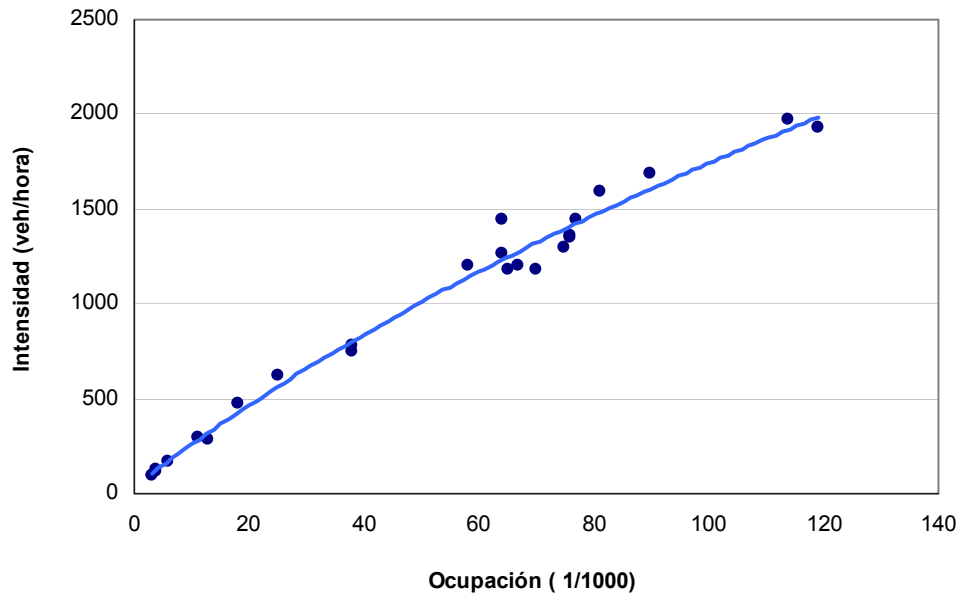


Figura 2.12 Curva intensidad ocupación de un día laborable en la calle Roselló a la altura de la calle Nàpols

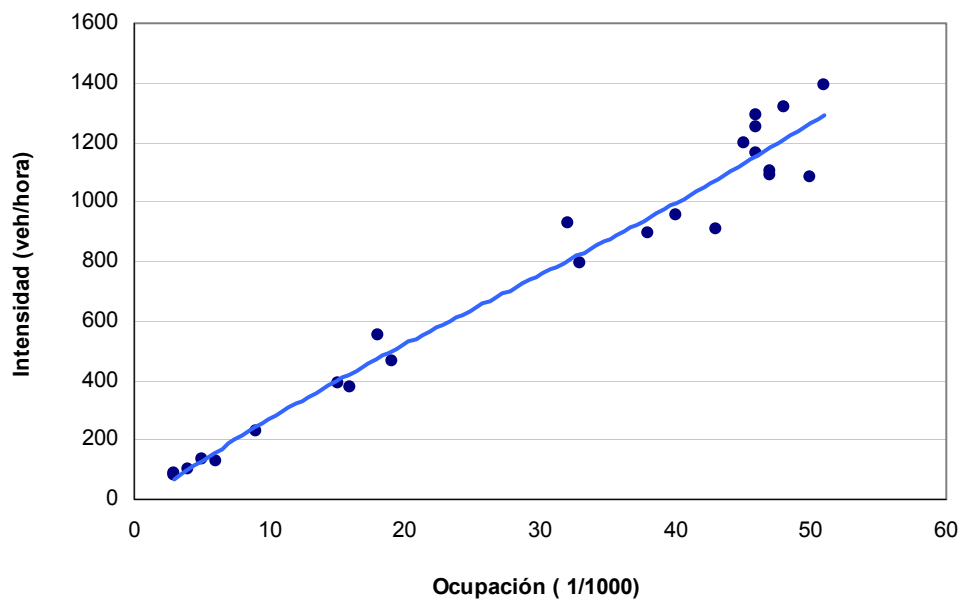


Figura 2.13. Curva intensidad ocupación de un día laborable en Passeig de Gràcia a la altura de Roselló

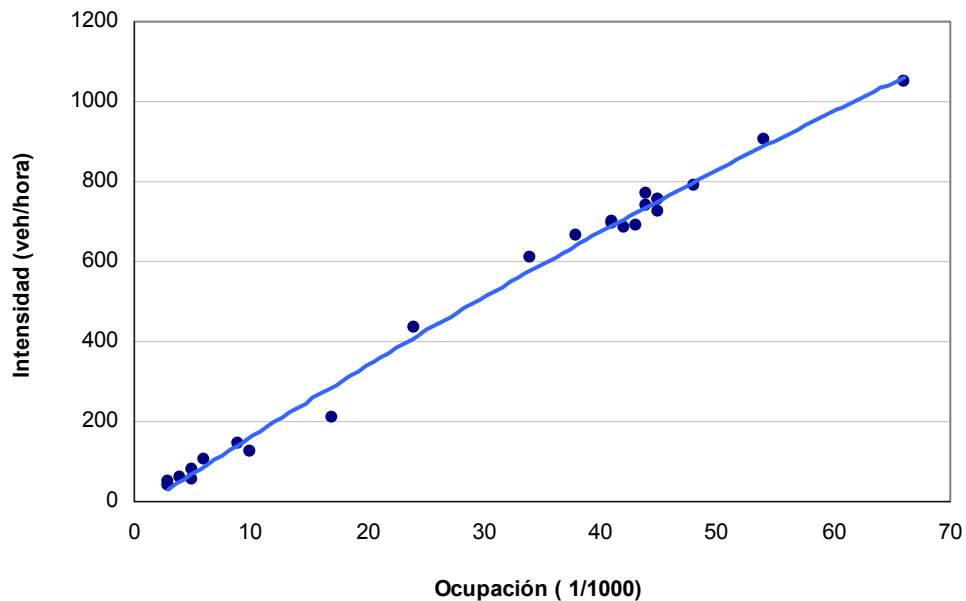


Figura 2.14. Curva intensidad ocupación de un día laborable en la calle Mallorca a la altura de la calle Calabria.

Los tramos que presentan este tipo de gráfico son tramos con ocupaciones bastante bajas y por lo tanto, son capaces de albergar un mayor número de vehículos sin que eso signifique una disminución excesiva de la fluidez de circulación.

Son tramos en los que no se observa ninguna tendencia de la curva a estabilizarse y que por lo tanto, no permiten estimar en ningún caso el valor de la capacidad.

Considerando conjuntamente todos los tramos de los 3 grupos, se observa que a pesar de estar en circulación urbana y por lo tanto discontinua, se obtienen gráficos de intensidad-densidad cuya forma coincide con los obtenidos en circulación continua.

El objetivo de la presente tesina es llegar a relacionar la capacidad de una vía con todos los parámetros anteriormente anunciados. Por lo tanto, para llevar a cabo el estudio se toman todos los tramos pertenecientes al grupo A (con intensidades que superan la capacidad en determinadas horas del día) y aquellos tramos pertenecientes al grupo B, en el que a pesar de no apreciarse un descenso de la intensidad a medida que aumenta la ocupación, si que se observa una estabilización del valor de la intensidad.

2.3. CAPACIDAD POR CARRIL Y POR HORA DE VERDE

La capacidad de una vía está determinada por una serie de variables que dependen de las características físicas de la sección, de las del tráfico y las regulaciones de la circulación.

Por consiguiente, dentro de la ingeniería de tráfico se han desarrollado una serie de métodos que permiten el cálculo de dicha capacidad, teniendo en cuenta las características del entorno y la circulación. Estos métodos se basan fundamentalmente en datos empíricos, ya que las complejas condiciones de la circulación no han permitido el desarrollo de modelos teóricos generales que puedan aplicarse en la práctica.

Efectivamente, resulta muy difícil evaluar con precisión la influencia que cada una de las variables del entorno y de la circulación ejerce sobre la capacidad, pues muchas de ellas no únicamente son cambiantes en el tiempo, sino que tampoco afectan por igual a todos los conductores. Tomando como ejemplo la carga/descarga ilegal, resulta imposible determinar con exactitud el número de maniobras de carga o descarga que se llevarán a cabo en cada una de las 24 horas del día. Pero además, no todos los conductores actuarán de la misma manera ni con la misma decisión cuando se vean obligados a cambiar de carril para adelantar al vehículo detenido.

Pero de entre todas las variables, existen dos cuyos efectos pueden considerarse constantes tanto en el tiempo como en la afectación a los conductores: el número de carriles y el tiempo de verde del semáforo correspondiente. Son las variables que en mayor medida determinan la capacidad del vía.

Las primeras teorías de tráfico consideraban como paralelos los problemas del tráfico y de la hidráulica, dado que a grandes rasgos parecían bastantes semejantes. Este paralelismo, aunque ya superado, no ha dejado de ser sugerente a los técnicos hasta el punto que buena parte de la terminología en uso proviene del campo de la hidráulica (canalización, flujo, capacidad, etc.). Si se intenta explicar el tráfico urbano asemejándolo a un problema hidráulico, el semáforo ha de considerarse como el grifo que cíclicamente se abre y se cierra permitiendo el paso de más o menos vehículos. El diámetro de la tubería (número de carriles) es igualmente determinante a la hora de calcular el flujo que saldrá por el grifo. El resto de variables enunciadas, han de considerarse como obstaculizaciones temporales que interfieren el paso de agua provocando que en determinadas fases en las que el grifo permanece abierto, no salga tanta agua como es de esperar.

El entramado urbano de Barcelona está jerarquizado, y en él se encuentran calles cuya función principal es la de permitir el acceso a los edificios y por el contrario, existen calles cuya función es la de facilitar la movilidad. Aquellas calles más importantes

disponen de mayor número de carriles y de mayor tiempo de verde en las fases de los semáforos

Por lo tanto, antes de empezar a intentar relacionar la capacidad con las características del entorno y la circulación, es necesario transformar los datos de capacidad obtenidos mediante el diagrama fundamental del tráfico.

Los datos de intensidad y ocupación de los que se dispone inicialmente, son datos referentes a toda la calzada. Por lo tanto, dividiendo la capacidad obtenida (vehículos/hora) por el número de carriles, se obtiene la capacidad por carril (vehículos/hora/carril).

A continuación, si multiplicamos la capacidad del carril por la relación entre la duración total del ciclo semafórico y la duración de la fase de verde, se obtiene la capacidad de la vía por carril y por hora de verde.

$$C_{cv} = \frac{C}{N} \cdot \frac{T}{V} \quad \text{donde}$$

C_{cv} : Capacidad por carril y hora de verde
 C : Capacidad (obtenida con diagrama fundamental del tráfico)
 N : Número de carriles
 T : Duración total del ciclo
 V : Duración de la fase de verde

De esta manera, es posible comparar todos los tramos de calle entre sí, independientemente del número de carriles de que dispongan y del correspondiente tiempo de verde.

2.4. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio de esta tesina está restringido en primer lugar a 239 tramos de los que dispone de la información de intensidades y ocupaciones. En 191 de estos tramos, se dispone de las intensidades medias horarias con sus respectivas ocupaciones, para las 24 horas de días laborables y días festivos. Dichos datos fueron registrados entre el 1 y el 31 de marzo del 2003. En los restantes 48 tramos, se dispone de la misma información,

aunque en este caso los datos fueron registrados en el mismo período pero del año 2004. Sin embargo, no se tendrá en cuenta esta diferencia de un año entre unos datos y otros.

Una vez analizados los gráficos de intensidad / ocupación, se observa que son 103 los tramos en los que se está en condiciones de determinar su capacidad.

La figura 2.15 muestra la situación de los 239 tramos de los que se dispone de información, mientras que en la figura 2.16 se puede apreciar la localización de los 103 tramos seleccionados para el estudio sobre el entramado de Barcelona. En este mapa los tramos aparecen identificados con el código de la espira electromagnética que ha proporcionado los datos de intensidad. Este código, permite localizar en el mapa cualquiera de los tramos de estudio.

Se observa como la gran mayoría son tramos pertenecientes al eixample, más concretamente a la parte izquierda del eixample.

En la figura 2.17, se representa el valor de la capacidad de los 103 tramos de estudio.

A consecuencia de la confidencialidad de la información de intensidades, no se adjunta en los anejos todos los registros de intensidades horarias y ocupaciones de los que se dispone.



Figura 2.15. Localización de los tramos de los que se dispone de información. Elaboración propia. Fuente: Agencia de Ecología Urbana

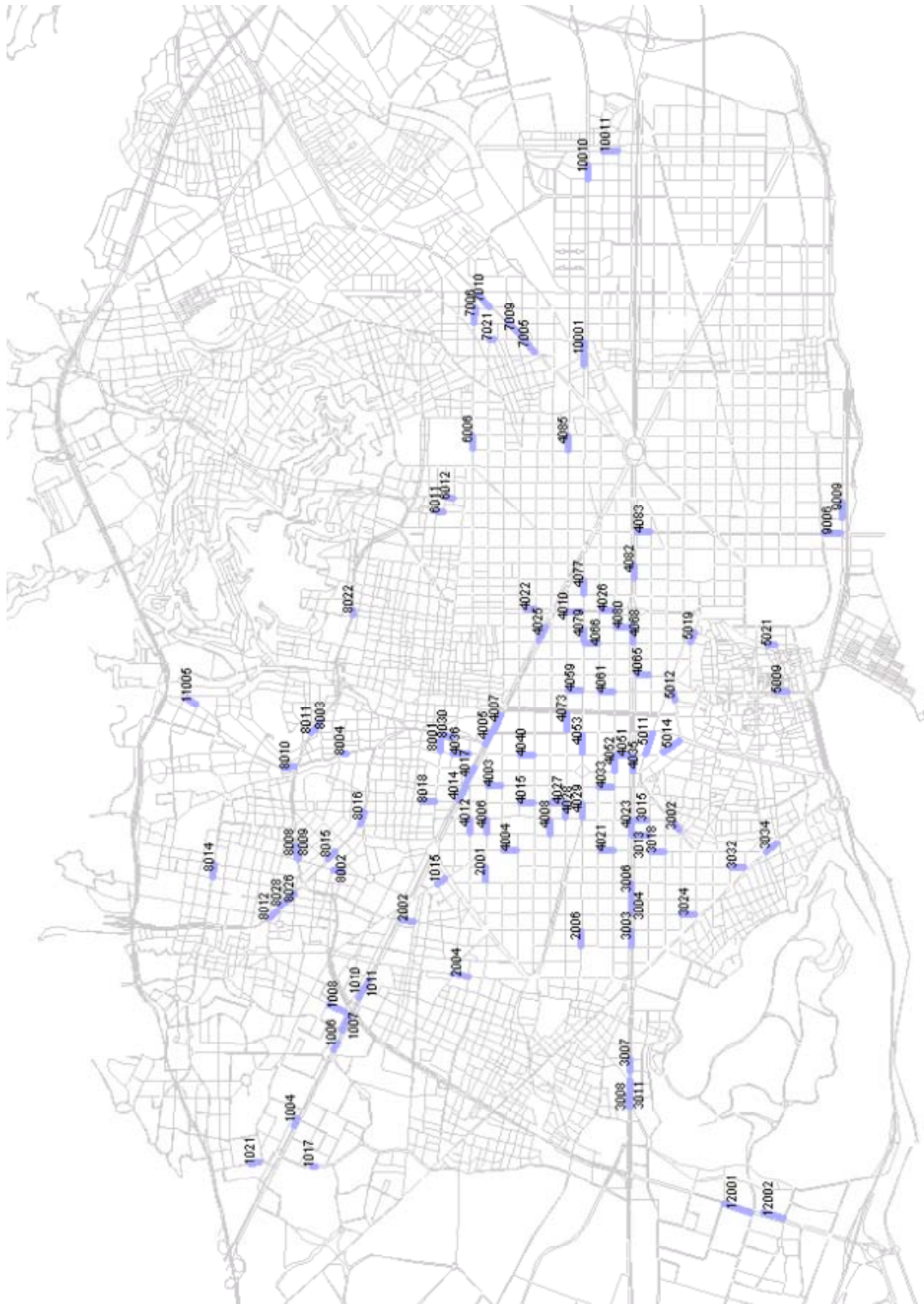


Figura 2.16. Localización de los tramos de estudio, con capacidad conocida. Elaboración propia. Fuente: Agencia de Ecología Urbana

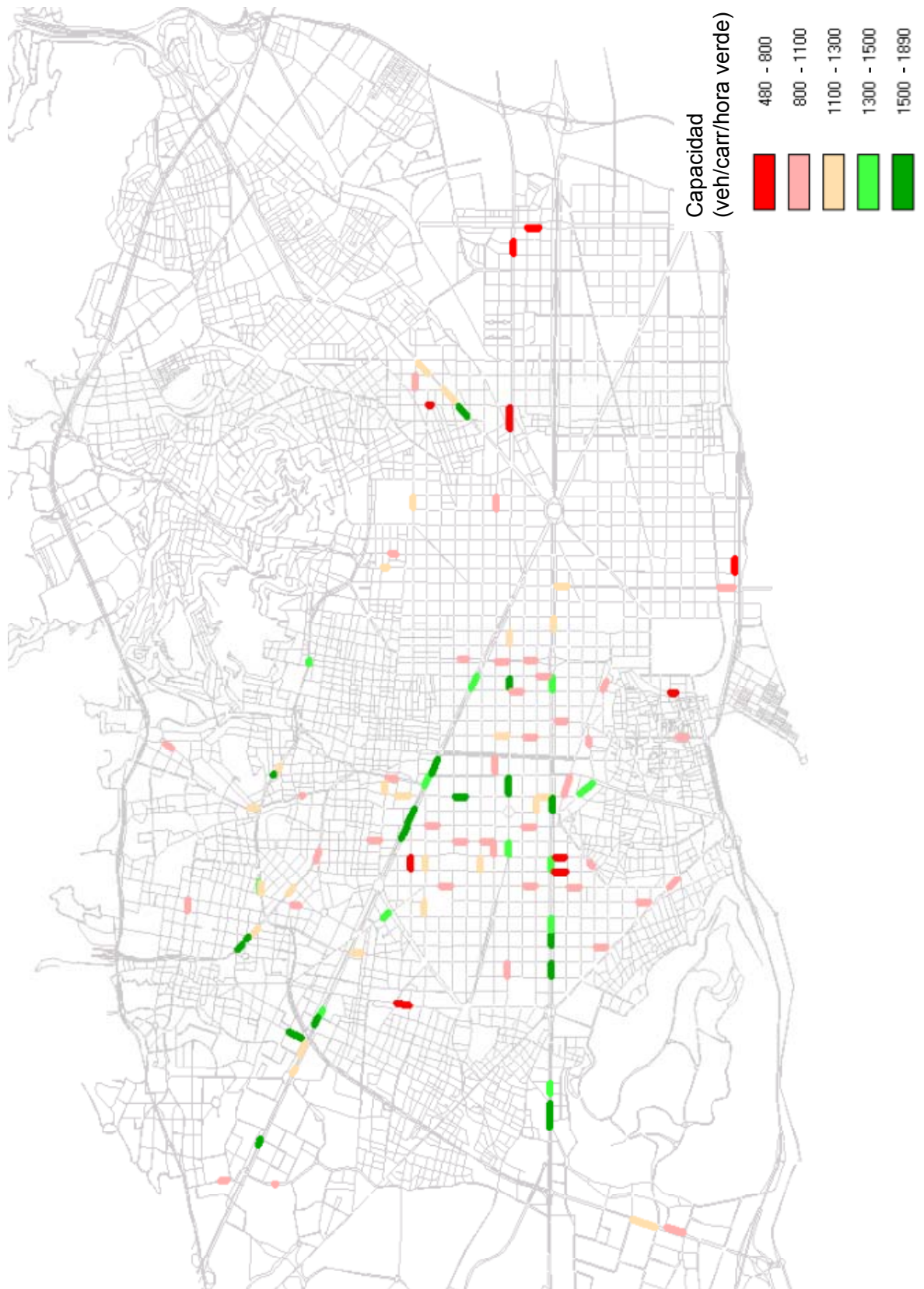


Figura 2.16. Capacidades por carril y hora de verde. Elaboración propia. Fuente: Agencia de Ecología Urbana