



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

---

## ANEJO 3. ESTUDIO DE TRÁFICO

ANÁLISIS DE ACTUACIONES DE MEJORA DE SEGURIDAD VIAL EN LA A-7,  
ENTRE EL P.K. 373 Y EL P.K. 376, EN LOS TÉRMINOS MUNICIPALES DE  
L'ALCÚDIA Y GUADASSUAR (VALENCIA).

---

*Presentado por*

Cioara, Vlad

---

*Para la obtención del*

Grado de Ingeniería de Obras Públicas

*Curso: 2018/2019*

*Fecha: Junio 2019*

*Tutor: Vicente Melchor Ferrer Pérez*





ÍNDICE

ANEJO 3: ESTUDIO DE TRÁFICO

1    *Introducción y objetivo de estudio* ..... 4

2    *Análisis del tráfico actual*..... 4

     2.1    *Área de estudio* ..... 4

     2.2    *Red viaria actual* ..... 4

     2.3    *Estaciones de aforo. Datos iniciales*..... 4

     2.4    *Datos registrados*..... 5

     2.5    *Prognosis del tráfico en el año horizonte (2038).* ..... 6

     2.6    *Prognosis del tráfico pesado en el año horizonte (2038).* ..... 6

3    *Estudio de la capacidad y nivel de servicio*..... 7

     3.1    *Nivel de servicio* ..... 8

     3.2    *Metodología* ..... 9

     3.3    *Método para el calculo de nivel de servicio* ..... 10

         3.3.1    *Datos del tramo de estudio:* .....10

         3.3.2    *Estimación de la Velocidad libre de operación V<sub>Lo</sub> (Sentido Ascendente) 2038.* .....10

         3.3.3    *Determinación de la Intensidad de demanda I<sub>D</sub> (Sentido Ascendente) 2038.* .....12

         3.3.4    *Densidad (Sentido Ascendente) 2038.* .....15

         3.3.5    *Estimación de la Velocidad libre de operación V<sub>Lo</sub> (Sentido Descendente) 2038.* .....16

         3.3.6    *Determinación de la Intensidad de demanda I<sub>D</sub> (Sentido Descendente) 2038.* .....16

         3.3.7    *Densidad (Sentido Descendente) 2038.* .....18



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>Referencias .....</b>   | <b>19</b> |
|          | <b>Apéndice I: Evolución del nivel de servicio desde 2018 - 2038.....</b>        | <b>22</b> |
|          | <b>    Evolución del nivel de servicio sentido ascendente 2018 – 2038: .....</b> | <b>22</b> |
|          | <b>    Evolución del nivel de servicio sentido descendente 2018 - 2038.....</b>  | <b>23</b> |

## ÍNDICE FIGURAS:

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Delimitación del tramo de estudio .....  | 4  |
| Figura 2 | Localización y emplazamiento de la estación de aforo V-54-2. Fuente: Mapa de tráfico.....        | 5  |
| Figura 3 | Nivel de servicio - Descripción de circulación. Fuente: HCM 2010 .....                           | 9  |
| Figura 4 | Distribución de intensidad horaria según el carácter de la carretera. Fuente: Norma 3.1 IC ..... | 13 |

## ÍNDICE GRÁFICOS:

|           |  |   |
|-----------|--|---|
| Gráfico 1 | IMD Registrada. Fuente: Elaboración propia ..... | 5 |
| Gráfico 2 | IMD Estimada. Fuente: Elaboración propia.....    | 7 |

## ÍNDICE TABLAS:

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tabla 1  | IMDp Registrada 2010 – 2017. Fuente: Elaboración propia .....                   | 5  |
| Tabla 2  | IMD Registrada 2010 – 2017. Fuente: Elaboración propia .....                    | 5  |
| Tabla 3  | Incremento de tráfico según FOM/3317/2010.....                                  | 6  |
| Tabla 4  | Prognosis del tráfico 2017 – 2038. Fuente: Elaboración propia.....              | 6  |
| Tabla 5  | Prognosis del tráfico pesados 2017 – 2038. Fuente: Elaboración propia.....      | 6  |
| Tabla 6  | Niveles de servicio. Fuente: HCM 2010 .....                                     | 8  |
| Tabla 7  | Datos de partida. Fuente: Elaboración propia .....                              | 10 |
| Tabla 8  | Ajuste por ancho de carril fa. Fuente: HCM 2010.....                            | 11 |
| Tabla 9  | Ajuste por distancia al obstáculo lateral derecho. Fuente: HCM 2010.....        | 11 |
| Tabla 10 | Resumen coeficientes de ajuste para $V_{LO}$ . Fuente: Elaboración propia. .... | 12 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 11 | Típicos valores por defecto. Fuente HCM 2010.....                              | 14 |
| Tabla 12 | Valores de $E_C$ y $E_R$ . Fuente: HCM 2010 .....                              | 14 |
| Tabla 13 | Resumen datos Intensidad de demanda. Fuente: Elaboración propia .....          | 15 |
| Tabla 14 | Niveles de servicio. Fuente HCM 2010.....                                      | 15 |
| Tabla 15 | Resumen coeficientes de ajuste para $V_{LO}$ . Fuente: Elaboración propia..... | 16 |
| Tabla 16 | Típicos valores por defecto. Fuente HCM 2010.....                              | 17 |
| Tabla 17 | Valores de $E_C$ y $E_R$ . Fuente: HCM 2010 .....                              | 17 |
| Tabla 18 | Resumen datos Intensidad de demanda. Fuente: Elaboración propia .....          | 18 |
| Tabla 19 | Niveles de servicio. Fuente HCM 2010.....                                      | 18 |
| Tabla 20 | Evolución del nivel de servicio ascendente.....                                | 22 |
| Tabla 21 | Evolución del nivel de servicio descendente. Fuente: Elaboración propia.....   | 23 |
| Tabla 22 | Nivel de servicio mínimo del año horizonte. Fuente: Norma 3.1 IC .....         | 24 |

## ÍNDICE ECUACIONES:

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Ecuación 1  | Crecimiento acumulativo del tráfico. Fuente: FOM/3317/2010.....      | 6  |
| Ecuación 2  | Estimación de la Velocidad libre de operación. Fuente HCM 2010. .... | 11 |
| Ecuación 3  | Ecuación de la recta.....  | 11 |
| Ecuación 4  | Intensidad de demanda. Fuente: HCM 2010. ....                        | 12 |
| Ecuación 5  | Intensidad horaria de proyecto. Fuente HCM 2010 .....                | 13 |
| Ecuación 6  | Factor de hora punta. Fuente: HCM 2010. ....                         | 14 |
| Ecuación 7  | Factor de pesados $f_p$ .....  | 14 |
| Ecuación 8  | Densidad. Fuente: HCM 2010 .....                                     | 15 |
| Ecuación 9  | Estimación de la Velocidad libre de operación. Fuente HCM 2010. .... | 16 |
| Ecuación 10 | Intensidad de demanda. Fuente: HCM 2010. ....                        | 16 |
| Ecuación 11 | Intensidad horaria de proyecto. Fuente HCM 2010 .....                | 16 |
| Ecuación 12 | Factor de hora punta. Fuente: HCM 2010. ....                         | 17 |
| Ecuación 13 | Factor de pesados $f_p$ .....  | 17 |
| Ecuación 14 | Densidad. Fuente: HCM 2010 .....                                     | 18 |

## 1 Introducción y objetivo de estudio

El principal objetivo de este anejo es el estudio del tráfico de la autovía A-7 entre los P.K. 373 y P.K. 376 a su paso por los términos municipales de L'Alcúdia y Guadassuar. Para ello, se hará uso de la estación de aforo **V – 54 – 2** del P.K. 376,05, que nos proporciona los datos necesarios de los vehículos ligeros y pesado que pasan por dicho tramo.

Se determinará la capacidad de la vía, así como el nivel del servicio, según los datos obtenidos de la estación de aforo nombrada anteriormente.

Por otro lado, se determinará el tráfico en el año horizonte de los vehículos que circularán por el tramo y se podrá observar la evolución del mismo. Pudiendo comprobar a través de estos cálculos, si la autovía se encuentra en un nivel de servicio adecuado.

## 2 Análisis del tráfico actual

### 2.1 Área de estudio

La zona en la que se centrada el estudio es el tramo de autovía A-7 a su paso por los términos municipales de L'Alcúdia y Guadassuar, en la provincia de Valencia. Para poder analizar el tráfico, es necesario establecer una zona donde centrarse. La zona de estudio se delimitará entre los entre los P.K. 373 y P.K. 376, teniendo en cuenta que el estudio de tráfico se analizará en sentido ascendente (hacia Alicante) y en sentido descendente (Valencia). En la Figura 1 se delimita el tramo de estudio entre los P.K. citados anteriormente.

### 2.2 Red viaria actual

La red viaria que se estudia es un tramo de autovía A-7, con una longitud total de 3,20 km centralizada especialmente entre los P.K. 373 Y 376. El tramo objeto de estudio discurre por los términos municipales de L'Alcúdia y Guadassuar. La velocidad máxima del tramo es de 100 km/h para ambas calzadas limitadas por la curva del P.K. 375,3.

La A-7 consta de dos calzadas separadas, una para cada sentido de circulación. Cada una de ella presenta tres carriles de 3,50 m de anchura, arcén derecho de 2,50 m y arcén izquierdo de 1,0 m. Existe una mediana estricta con barrera new jersey instalada.

### 2.3 Estaciones de aforo. Datos iniciales



Figura 1 Delimitación del tramo de estudio

Para caracterizar el tráfico de la zona se ha partido de los datos facilitados por la estación de aforo V-54-2, que se encuentra situada en el P.K. 376,05 a la altura de Montortal.

#### Hay varios tipos de estaciones de aforo:

- Estaciones permanentes: estas estaciones aforan los 365 días/año durante las 24 horas del día.
- Estaciones de control primario: estas estaciones aforan una semana cada dos meses de lunes a domingo las 24 horas del día, con un total de 42 días al año.
- Estaciones de control secundario: estas estaciones aforan 2 días laborables cada dos meses, las 24 horas del día, con un total de 12 días laborables al año.



- **Estaciones de cobertura:** estas estaciones son automáticas o manuales, en caso de las automáticas aforan 1 día laboral al año, durante las 24 horas del día. Mientras que las manuales aforan 1 día laboral al año, durante 6 horas del día.

En nuestro caso, tenemos una estación de control secundaria, con un total de 18 días aforados durante las 24 horas del día, con un total de 288 horas aforadas de lunes a domingo. Los datos registrados por la estación de aforo V-54-2 son desde el año 2000 hasta el año 2017, sobre los que a continuación vamos a realizar un estudio del tráfico, observando la evolución del mismo.

En la siguiente imagen podemos localizar la estación de aforo, que se encuentra situada al principio del tramo de estudio.

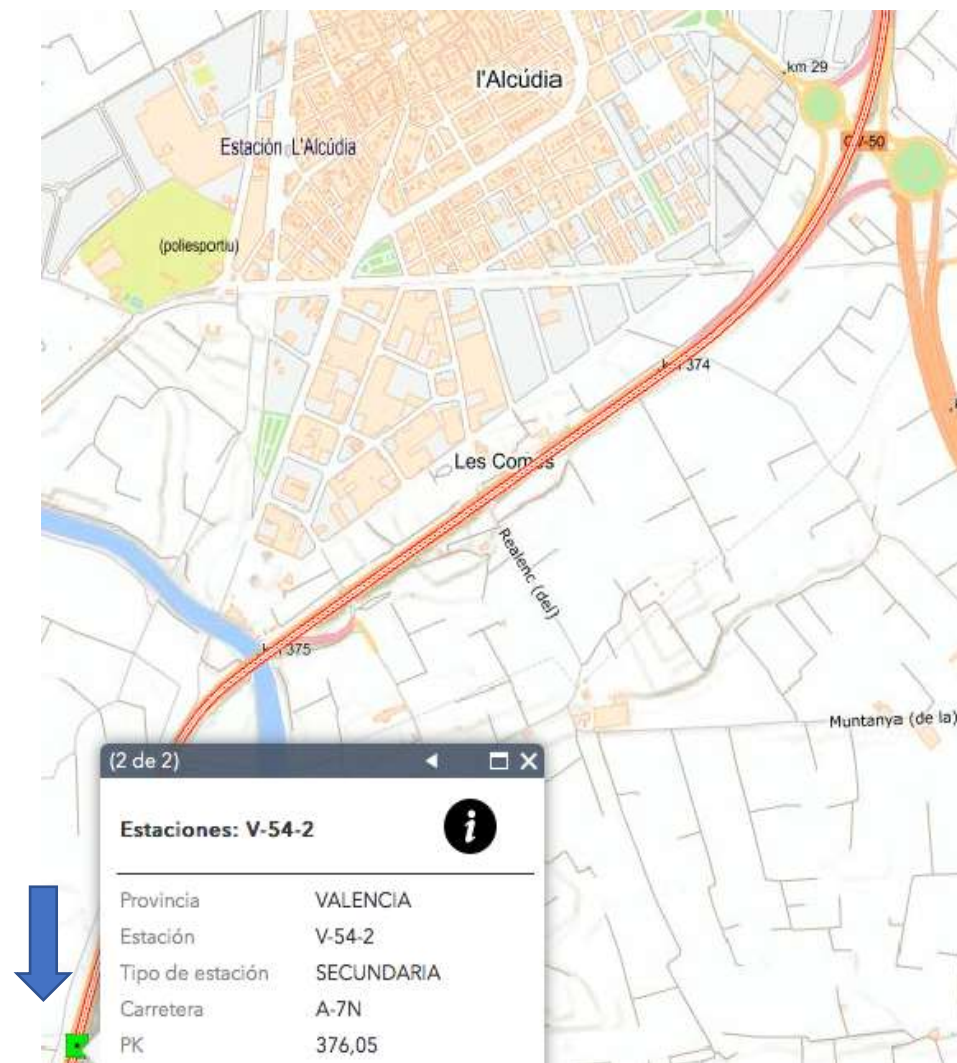


Figura 2 Localización y emplazamiento de la estación de aforo V-54-2. Fuente: Mapa de tráfico

## 2.4 Datos registrados.

Como podemos observar en las siguientes tablas, la evolución del tráfico registrada en el periodo 2010 – 2017 es la siguientes:

| Tramo                    | P.K.<br>Estación de | IMD REGISTRADA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|---------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                     | 2010           | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05              | 53.903         | 52.046 | 49.951 | 48.617 | 48.769 | 52.394 | 54.797 | 54.028 |

Tabla 2 IMDp Registrada 2010 – 2017. Fuente: Elaboración propia

| Tramo                    | P.K.<br>Estación de<br>aforo | IMDp REGISTRADA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                              | 2010            | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                       | 10.645          | 10.492 | 9.963  | 10.379 | 10.702 | 11.929 | 11.556 | 12.200 |
|                          |                              | 19,80%          | 20,20% | 19,90% | 21,40% | 21,90% | 22,80% | 21,10% | 22,58% |

Tabla 1 IMD Registrada 2010 – 2017. Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que, el tráfico ha tenido un decrecimiento entre 2010 y 2013 para volver a crecer a partir de un año con una IMD 48.769 veh / día en 2014 y en 2017 con una IMD 54.028 veh / día. Por su parte, el tráfico de vehículos pesados es de un 20% hasta 2013 y el porcentaje ha crecido por encima del 22%.

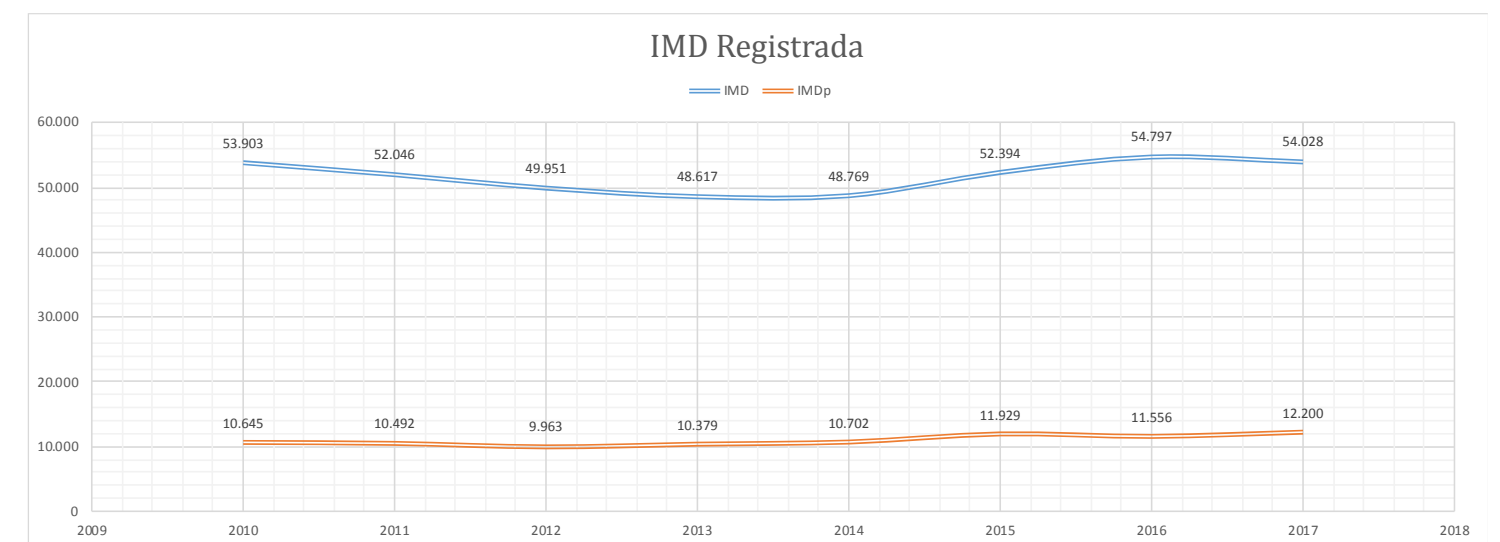


Gráfico 1 IMD Registrada. Fuente: Elaboración propia



## 2.5 Prognosis del tráfico en el año horizonte (2038).

Se ha estudiado el crecimiento del tráfico hasta el año horizonte, durante los próximos 20 años.

A partir de los datos registrados por la estación de aforo V-54-2 hasta el año 2017 y los porcentajes de incremento de tráfico en el estudio según la Orden FOM/3317/2010, que indica el crecimiento acumulativo del tráfico, con estos datos sacamos la evolución del tráfico hasta el año horizonte 2038. En la siguiente tabla se observan el porcentaje que aumenta el tráfico cada año.

| Incremento de tráfico a utilizar en el estudio según Orden FOM/3317/2010 |                              |
|--|------------------------------|
| Período  | Incremento anual acumulativo |
| 2010 - 2012  | 1,08%                        |
| 2013 - 2016  | 1,12%                        |
| 2017 en adelante   | 1,44%                        |

Tabla 3 Incremento de tráfico según FOM/3317/2010

La evolución del tráfico se ha calculado a partir de los datos de aforo de 2017 y el incremento anual acumulativo, indicado en la tabla ( 1,44%).

La fórmula necesaria para aplicar el correspondiente incremento anual es la siguiente:

Ecuación 1 Crecimiento acumulativo del tráfico. Fuente: FOM/3317/2010

$$IMD_{pt} = IMD_{pi} \times (1 + coef.)^n$$

Siendo:

- $IMD_{pt}$  = La intensidad media diaria de vehículos del año final de la serie de datos. En este caso es 2038.
- $IMD_{pi}$  = La intensidad media diaria de vehículos origen. En este caso 2017.
- $coef.$  = Coeficiente del incremento anual acumulado "Tabla 3". En este caso 1,44%.

- $n$  = Años transcurridos entre el año inicial y el año final que se quiere estimar. En este caso 2017 – 2038.

Aplicando la formula anterior, con el porcentaje anual de crecimiento, se observa la siguiente prognosis del tráfico, en el tramo objeto de la actuación en el periodo 2018 - 2038:

| Tramo                    | P.K. Estación de aforo | IMD ESTIMADA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                        | 2018         | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   | 2025   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                 | 54.806       | 55.595 | 56.396 | 57.208 | 58.032 | 58.867 | 59.715 | 60.575 |

| Tramo                    | P.K. Estación de aforo | IMD ESTIMADA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                        | 2026         | 2027   | 2028   | 2029   | 2030   | 2031   | 2032   | 2033   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                 | 61.447       | 62.332 | 63.230 | 64.140 | 65.064 | 66.001 | 66.951 | 67.915 |

| Tramo                    | P.K. Estación de aforo | IMD ESTIMADA |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                        | 2034         | 2035   | 2036   | 2037   | 2038   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                 | 68.893       | 69.885 | 70.892 | 71.912 | 72.948 |

Tabla 4 Prognosis del tráfico 2017 – 2038. Fuente: Elaboración propia

## 2.6 Prognosis del tráfico pesado en el año horizonte (2038).

Los datos de IMD de vehículos pesados en el año horizonte se obtienen a partir de los datos registrados por la estación de aforo del año 2017, aplicando el coeficiente del incremento anual acumulativo según indica la tabla anterior de 1,44% correspondiente para el año 2017 en adelante. Así se obtiene la prognosis del tráfico pesado en el año horizonte 2038.

Por lo tanto, la evolución de la IMD de vehículos pesado estimada en el periodo 2018 – 2038 es la siguiente:

| Tramo                    | P.K. Estación de aforo | IMDp ESTIMADA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                        | 2018          | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   | 2024   | 2025   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                 | 12.376        | 12.554 | 12.735 | 12.918 | 13.104 | 13.293 | 13.484 | 13.678 |

| Tramo                    | P.K. Estación de aforo | IMDp ESTIMADA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                        | 2026          | 2027   | 2028   | 2029   | 2030   | 2031   | 2032   | 2033   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                 | 13.875        | 14.075 | 14.278 | 14.483 | 14.692 | 14.904 | 15.118 | 15.336 |

| Tramo                    | P.K. Estación de aforo | IMDp ESTIMADA |        |        |        |        |
|--------------------------|------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|                          |                        | 2034          | 2035   | 2036   | 2037   | 2038   |
| Estación de aforo V-54-2 | 376,05                 | 15.557        | 15.781 | 16.008 | 16.238 | 16.472 |

Tabla 5 Prognosis del tráfico pesados 2017 – 2038. Fuente: Elaboración propia

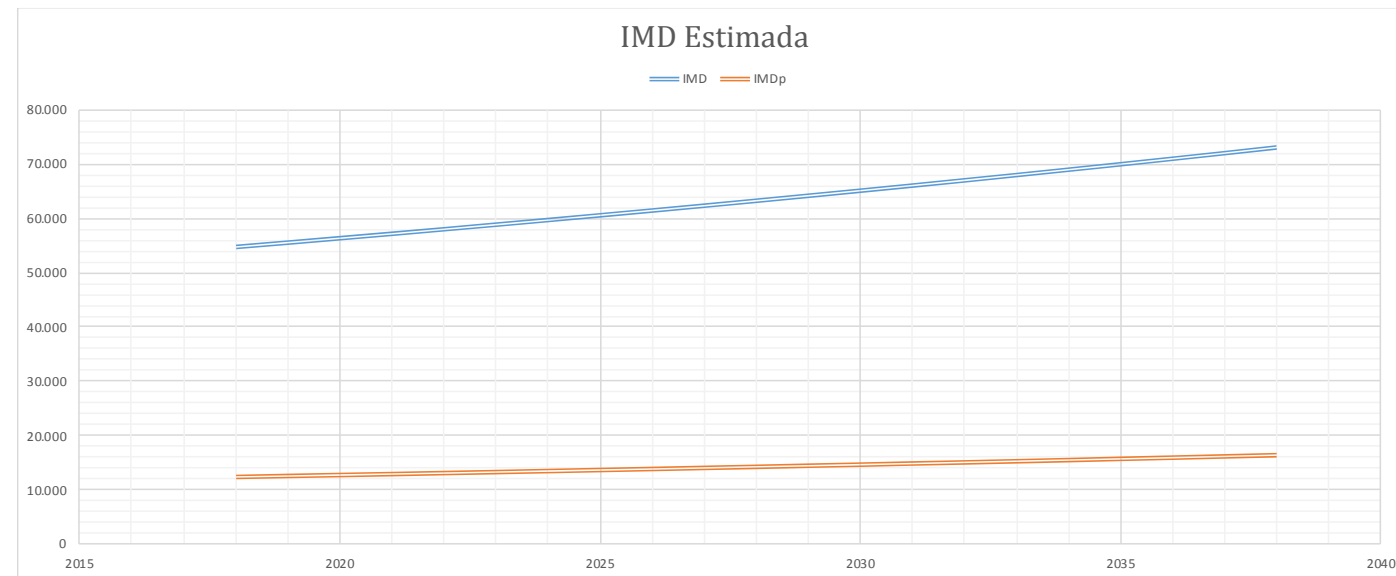


Gráfico 2 IMD Estimada. Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos de la prognosis del tráfico de ligeros y pesado desde 2017 hasta 2038 año horizonte, se procede al cálculo del nivel de servicio del tramo de estudio en el año actual y se observa la evolución del nivel de servicio hasta el año horizonte 2038.

### 3 Estudio de la capacidad y nivel de servicio.

El objetivo principal de este apartado es la realización de un análisis de la capacidad y el nivel de servicio entre el P.K. 373 y P.K. 376 de la autovía A-7 a su paso por los términos municipales de L'Alcúdia y Guadassuar, para estimar cual es la intensidad máxima que puede soportar nuestra vía en condiciones óptimas y razonables sin alcanzar el colapso. Por lo tanto, se debe estudiar el número de vehículos que podrían circular en un determinado tiempo en condiciones específicas. Para el análisis de la capacidad y los niveles de servicio se ha utilizado el *Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual (HCM) 2010)*.

Las variables elementales de tráfico para calcular en nivel de servicio de una autovía son:

- Velocidad Libre De Operación ( $V_{LO}$ ).
- Intensidad De Demanda ( $I_D$ ).
- Densidad ( $D$ ).

El Manual de capacidad de carreteras (*Highway Capacity Manual (HCM) 2010*), se basa en unas condiciones base para el cálculo, estas condiciones son las siguientes:

- Buen tiempo atmosférico.
- Buena visibilidad.
- No hay incidencias ni accidentes en el tramo de estudio.
- El firme presenta un estado mínimo de conservación y mantenimiento.
- No hay pesados ni recreativos solo turismos.
- Conductores habituales.
- Ancho del carril mínimo 12 ft.
- Distancia mínima al arcén derecho 6 ft.

Como el tramo de estudio no cumple las condiciones base asignados por el *HCM 2010*, se tienen que aplicar unos coeficientes correctores en el cálculo del nivel de servicio.

Como se comentó anteriormente, la variable fundamental para definir el Nivel de Servicio de la autovía es la **Densidad ( $D$ )**. La densidad se obtiene a partir de las variables de Velocidad Libre De Operación y la Intensidad De Demanda.





3.1 Nivel de servicio

El nivel de servicio es una medida cualitativa de las condiciones de circulación percibidos por parte de los usuarios, que tiene en cuenta la valoración de la calidad de factores:

- Velocidad.
- Tiempo de recorrido.
- Comodidad de conducción.
- Fluidez.
- Seguridad.
- Coste de funcionamiento.

La manera de combinar estos factores depende del tipo de carretera o elemento que se esté considerando, por lo que la definición de cada nivel de servicio particular es distinta dependiendo del tipo de carretera, autopista, intersección, glorieta etc.

Se emplean seis niveles de servicio que se designan, de mejor a peor, por las letras mayúsculas de la A a la F:

| Nivel de servicio | Circulación              |
|-------------------|--------------------------|
| A                 | Fluida                   |
| B                 | Estable a alta velocidad |
| C                 | Estable                  |
| D                 | Casi inestable           |
| E                 | Inestable                |
| F                 | Forzada                  |

Tabla 6 Niveles de servicio. Fuente: HCM 2010

• **Nivel (A) Circulación Fluida:** La velocidad de los vehículos es igual a la que los conductores elegirían libremente de no verse obligados a modificarla por la presencia de otros vehículos. Cuando se produce el alcance de un vehículo más lento por otro más rápido, este último podrá adelantarlo sin sufrir casi demora alguna, por lo que el conductor percibirá que está circulando libre de “molestias”. Esto se corresponde con una situación cómoda para él, tanto física como psicológicamente hablando.

• **Nivel (B) Estable a alta velocidad:** Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito La demora de los conductores no es mayor al 50% del total del tiempo de viaje.

• **Nivel (C) Estable:** Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad. La demora de los conductores alcanza el 65% del total del tiempo de viaje.

• **Nivel (D) Casi Inestable:** Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La demora de los conductores es cercana al 80% del total del tiempo de viaje.

• **Nivel (E) Inestable:** Flujo inestable, suceden pequeños congestionamientos. La demora de los conductores es mayor al 80% del total del tiempo de viaje. Límite de la capacidad.

• **Nivel (F) Flujo forzado:** condiciones de «pare y siga», congestión.

A continuación, se añade una imagen explicativa de los 6 niveles de servicios, en la que se puede apreciar mejor cada nivel de servicio:

| Niveles de servicio-Descripción de circulación |                      |  |
|--|----------------------|--|
| NIVEL DE SERVICIO                              | CONDICIONES DE FLUJO | DESCRIPCIÓN DE CIRCULACIÓN   |
| A  |                      | Alta calidad de servicio. El tráfico fluye libremente con poca o ninguna restricción de velocidad o maniobra.<br><b>No hay demoras</b>   |
| B  |                      | El tráfico es estable y fluye libremente. La capacidad de maniobra se encuentra tan solo levemente restringida.<br><b>No hay demoras</b>   |
| C  |                      | Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad, y la libertad de maniobra está restringida. Los conductores deben ser más cuidadosos en los cambios de carril.<br><b>Demoras mínimas</b> |
| D  |                      | La velocidad disminuye ligeramente y aumenta la densidad. La libertad de maniobra se encuentra notablemente limitada.<br><b>Demoras mínimas</b>  |
| E  |                      | Proximidad de los vehículos entre sí, con poco espacio para maniobras. La comodidad de los conductores es escasa.<br><b>Demoras significativas</b>   |
| F  |                      | Tráfico muy congestionado con atascos, especialmente en áreas donde los vehículos confluyen.<br><b>Demoras significativas</b>  |

Figura 3 Nivel de servicio - Descripción de circulación. Fuente: HCM 2010

### 3.2 Metodología

El nivel de servicio en una autovía viene definido por la Densidad, que se calcula de las variables fundamentales del tráfico para una autovía como:

- 1. Velocidad Libre De Operación ( $V_{LO}$ ):** La velocidad libre de operación  $V_{LO}$  en una vía se define como la velocidad media de los coches cuando el tráfico es ligero. Esta velocidad libre puede estimarse a partir de la velocidad libre básica  $V_{LB}$ , que sería la velocidad libre en una vía en condiciones ideales. A esta velocidad se le aplica correcciones en función de la tipología del tramo.
- 2. Intensidad De Demanda ( $I_D$ ):** Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasan a través de una sección fija de una carretera por unidad de tiempo. Las unidades más usadas son vehículos/hora y vehículos/día. Cuando se emplea como unidad los vehículos/hora se denomina intensidad horaria, y cuando se utilizan los vehículos/día se habla de intensidad diaria.  
Cuando el tráfico no está formado exclusivamente por vehículos ligeros es necesario obtener la intensidad de un tráfico equivalente que estuviera formado únicamente por vehículos ligeros. Para ello se aplican unos factores de equivalencia que sirven para determinar a cuántos coches equivale cada vehículo de otro tipo. Estos factores de equivalencia dependen del tipo de vehículo (camiones, autobuses, vehículos de recreo, etc.) y de las características del trazado que a su vez dependen del tipo de terreno atravesado (terreno llano, ondulado ó accidentado).
- 3. Densidad ( $D$ ):** Se denomina densidad de tráfico al número de vehículos que existen por unidad de longitud sobre una carretera. Esta magnitud se obtiene fácilmente a partir de los datos de Intensidad de demanda y Velocidad libre de operación.

El cálculo del nivel de servicio se realiza primero en sentido ascendente (hacia Alicante), y posteriormente en sentido descendente (hacia Valencia) con los datos del tráfico proporcionados por la estación de aforo. El nivel de servicio que se obtiene es de año horizonte 2038.

Una vez calculado el nivel de servicio en sentido ascendente, la única variable que cambia es la Intensidad horaria de proyecto ya que la distribución de tráfico es de 51,51 / 48,48.



3.3 Método para el calculo de nivel de servicio

Para iniciar los cálculos, primero procedemos al análisis detallado del método que se empleará para el cálculo del nivel de servicio.

El procedimiento que el *Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual (HCM) 2010)* propone es el siguiente:

I. Datos del tramo de estudio de la autovía:

- a. Número de carriles en cada sentido.
- b. Anchura del carril.
- c. Distancia lateral de obstáculo a la derecha (arcén derecho).
- d. Densidad de accesos.
- e. Tipo de terreno:
  - 1. Llano.
  - 2. Ondulado.
  - 3. Montañoso.
- f. Longitud de rampa.
- g. Pendiente %.

II. Estimación de la Velocidad libre de operación  $V_{LO}$ .

- a. Ancho de carril.
- b. Arcén derecho.
- c. Número de accesos por milla.

III. Determinación de la Intensidad de demanda  $I_D$ .

- a. FHP.
- b. Número de carriles.
- c. Vehículos pesados.
- d. Conductores habituales.

IV. Obtención de la Densidad.

- a. Intensidad de demanda  $I_D$ .

b. Velocidad libre de operación  $V_{LO}$ .

A partir de este procedimiento, con los datos de la IMD registrados por la estación de aforos V-54-2, se procede al cálculo del nivel de servicio del tramo de estudio.

3.3.1 Datos del tramo de estudio:

Los datos de partida del tramo son los siguientes:

- La longitud del tramo es de 3,20 Km centralizados especialmente desde el P.K. 373 al P.K. 376.
- Número de carriles: la A-7 consta de dos calzadas separadas, una para cada sentido de circulación. Cada una de ella presenta tres carriles de 3,5 metros de anchura, arcén derecho de 2,5 metros y arcén izquierdo de 1,0 metro.
- Tiene un acceso cada 600 metros.
- Tipo de terreno de la zona es llano.

A continuación, se adjunta una tabla de resumen que se utilizara para el cálculo del nivel de servicio:

Tabla 7 Datos de partida. Fuente: Elaboración propia

| DATOS DEL TRAMO DE ESTUDIO |            |                  |
|----------------------------|------------|------------------|
| Anchura de carriles        | 3,50 m     | 11,48 ft         |
| Anchura del arcén          | 2,50 m     | 8,20 ft          |
| Número de carriles         | 3,00       |                  |
| Densidad de accesos        | 1acc/600 m | 2,6818 acc/milla |
| Tipo de terreno            | Llano      |                  |

3.3.2 Estimación de la Velocidad libre de operación  $V_{LO}$  (Sentido Ascendente) 2038.

La velocidad libre de operación, se obtiene a partir del ancho del carril, arcén y números de accesos por milla. Como se ha comentado anteriormente el *Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual (HCM) 2010)* parte de unas condiciones base, y como no todas las carreteras cumplen esas condiciones base se tiene que aplicar unos coeficientes correctores.



Las correcciones aplicadas a este tipo de tramo, procedentes del HCM 2010, se definen a continuación:

Ecuación 2 Estimación de la Velocidad libre de operación. Fuente HCM 2010.

$$V_{LO} = 75,4 - f_a - f_o - 3,22 \times TRD^{0.84}$$

Siendo:

- $V_{LO}$  = Velocidad libre de operación.
- $f_a$  = Ancho del carril en pies.
- $f_o$  = Ancho del arcén derecho en pies.
- TRD = Número de accesos por milla.

A partir de esta fórmula, con los datos de partida de los elementos característicos del tramo se puede calcular la Velocidad libre de operación.

En este caso, el ancho del carril es de 3,5 metros lo que es equivalente a 11,48 pies, el ancho del arcén derecho es de 2,5 metros lo que equivale a 8,20 pies.

Como estos datos no son iguales a los datos de condiciones base, se tiene que aplicar el ajuste al ancho del carril asi como al ancho del arcén, según la tabla que le corresponde como podemos observar a continuación.

$f_a$  = Ancho del carril en pies:

El ajuste por ancho de carril en  $f_a$  en mi/h en  $V_{LO}$ , se realiza de la siguiente manera:

Tabla 8 Ajuste por ancho de carril  $f_a$ . Fuente: HCM 2010.

| Ancho carril en ft (1ft = 0,3048 m) | $f_a$ en mi/h (1 mi = 1,609 Km) |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 12                                  | 0                               |
| 11                                  | 1,9                             |
| 10                                  | 6,6                             |

En este caso el ancho del carril es de 11,48 ft, entonces se tiene que interpolar entre 11 ft y 12 ft para obtener el valor de  $f_a$  correspondiente entre 1,9 y 0.

La interpolación es lineal, se obtiene de la siguiente formula:

Ecuación 3 Ecuación de la recta

$$y = a + bx$$

Siendo:

| x     | y   |
|-------|-----|
| 12    | 0   |
| 11,48 |     |
| 11    | 1,9 |

Con estos valores se obtienen los valores de  $a = 22,8$  y  $b = -1,9$ . Se interpolando linealmente con la Ecuación 3

$$y = 22,8 + 1,9 \times 11,48$$

y se obtiene el valor de  $f_a$  correspondiente a 11,48 ft que es de  $f_a = 0,988$ .

$f_o$  = Ancho del arcén derecho en pies:

El ajuste del obstáculo lateral derecho  $f_o$ , se obtiene de la tabla de HCM 2010. El valor del ajuste va en función del ancho del obstáculo lateral derecho (arcén derecho) y los números de carriles del mismo.

Tabla 9 Ajuste por distancia al obstáculo lateral derecho. Fuente: HCM 2010.

| Obstáculo lateral en<br>ft (1ft = 0,3048 m ) | Reducción de la $V_{LO}$ , $f_o$ en mi/h |     |     |     |
|--|--|-----|-----|-----|
|  | Carriles en la misma dirección           |     |     |     |
|  | 2  | 3   | 4   | 5   |
| > 6  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| 5  | 0,6                                      | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| 4  | 1,2                                      | 0,8 | 0,4 | 0,2 |
| 3  | 1,8                                      | 1,2 | 0,6 | 0,3 |
| 2  | 2,4                                      | 1,6 | 0,8 | 0,4 |
| 1  | 3  | 2   | 1   | 0,5 |
| 0  | 3,6                                      | 2,4 | 1,2 | 0,8 |



En este caso, el ancho del carril derecho es de 2,5 metros lo que equivale al 8,20 ft, consultando la *Tabla 9 Ajuste por distancia al obstáculo lateral derecho*, como es mayor de 6ft el valor de  $f_o$  para 3 carriles es de  $f_o = 0$ .

**TRD = Número de accesos por milla:**

En nuestro caso tenemos 1 acceso cada 600 metros, este valor se tiene que pasar a acceso/milla. Para pasarlo se realiza utilizando la siguiente expresión matemática.

$$\frac{1 \text{ accesos}}{0,6 \text{ km}} \times \frac{1,609}{1 \text{ milla}} = 2,6817 \text{ accesos/milla}$$

Siendo el valor de **TRD = 2,6817 accesos / milla**.

Con la obtención de los datos necesarios para la aplicación de la fórmula de Velocidad libre de operación, se aplica la fórmula y se obtiene el valor correspondiente de la Velocidad libre de operación del tramo de estudio.

$$V_{LO} = 75,4 - f_a - f_o - 3,22 \times TRD^{0.84}$$

Tabla 10 Resumen coeficientes de ajuste para  $V_{LO}$ . Fuente: Elaboración propia.

| $f_a$ | $f_o$ | TRD    |
|-------|-------|--------|
| 0,988 | 0     | 2,6817 |

$$V_{LO} = 75,4 - 0,988 - 0 - 3,22 \times 2,6817^{0.84} = 67,04 \text{ mi /h}$$

### 3.3.3 Determinación de la Intensidad de demanda $I_D$ (Sentido Ascendente) 2038.

La intensidad de demanda  $I_D$ , se obtiene a partir del factor de hora punta FHP, número de carriles, factor de pesados, factor de conductores habituales que varía entre un 0,85 y 1,00 y la intensidad horaria de proyecto.

La intensidad de demanda  $I_D$  se mide en turismos/hora, mientras que la intensidad horaria de proyecto  $IHP$  se mide en vehículos/hora.

Para realizar el cálculo de intensidad de demanda  $I_D$ , en primer lugar, se calcula la intensidad horaria de proyecto  $IHP$ , que viene determinada por los datos registrados por la estación de aforo.

**Intensidad horaria de proyecto  $IHP$ :** Es el número de vehículos que deben poder utilizar la carretera que se proyecta para un año horizonte, durante un período de tiempo de una hora, y para un nivel de servicio fijado. Es aquella superada un número determinado de horas al año, entre 30 – 100 horas. Se emplea para comprobar si se agota la capacidad de vía, determinar el nivel de servicio y para ordenación de tráfico.

**Factor de hora punta  $FHP$ :** El factor de hora punta, tiene en cuenta las variaciones de tráfico a corto plazo, periodos menores a una hora, en lo que pueden producir saturaciones de la vía. Se consigue midiendo durante la hora punta la intensidad del cuarto de hora más cargado dentro de esa hora.

Las correcciones aplicadas a este tipo de tramo, procedentes del HCM 2010, se definen a continuación:

Ecuación 4 Intensidad de demanda. Fuente: HCM 2010.

$$I_D = \frac{I}{FHP \times N \times f_p \times f_H}$$

Siendo:

- $I_D$  = La intensidad demanda en turismos/hora.
- $I$  = La intensidad punta o estudio en vehículos/hora.
- FHP = Factor de hora punta, suele ser de 0,85 zona rural y 0,98 en zona urbana.
- $N$  = Número de carriles en el mismo sentido
- $f_p$  = Factor de pesados.
- $f_H$  = Factor de conductores habituales.



A continuación, se calculará cada variable de la fórmula de Intensidad de demanda  $I_D$ . En primer lugar, se calcula la intensidad horaria de proyecto IHP, posteriormente el factor de hora punta FHP y en último lugar los coeficientes de pesados y el coeficiente de conductores habituales.

### 3.3.3.1 Intensidad horaria de proyecto IHP:

Para obtener la intensidad horaria de proyecto la vigente Norma 3.1 IC Trazado, de la instrucción de Carreteras, expresa que en el diseño de carreteras en cada caso deberá justificarse la hora de proyecto, que tendrá que ser inferior de 30 horas ni superior a 150 horas.

Para obtener la Intensidad horaria de proyecto a partir de la IMD, se debe emplear la tabla de distribución de intensidad horaria según el carácter de la carretera.

Para el cálculo de la IHP se emplea la siguiente formula:

*Ecuación 5 Intensidad horaria de proyecto. Fuente HCM 2010*

$$IHP_{AÑO\ HORIZONTE} = IMD_{AÑO\ HORIZONTE} \times K$$

Siendo:

- $IMD_{AÑO\ HORIZONTE}$  = Intensidad media diaria en el año horizonte.
- $K$  = El valor según el carácter de la carretera, en este caso es una carretera Rural Básica.

En este caso el valor que se le atribuye a la variable  $K$ , es el que le corresponde con el de una vía rural básica, el porcentaje de IMD generalmente atribuido a la intensidad horaria es este tipo de carretera es aproximadamente de un **13%**. Este porcentaje hace referencia, que únicamente es superado durante 30 horas al año.

El valor que se le atribuye a la variable  $K$ , se escoge de la siguiente gráfica, siguiendo el procedimiento explicado anteriormente.

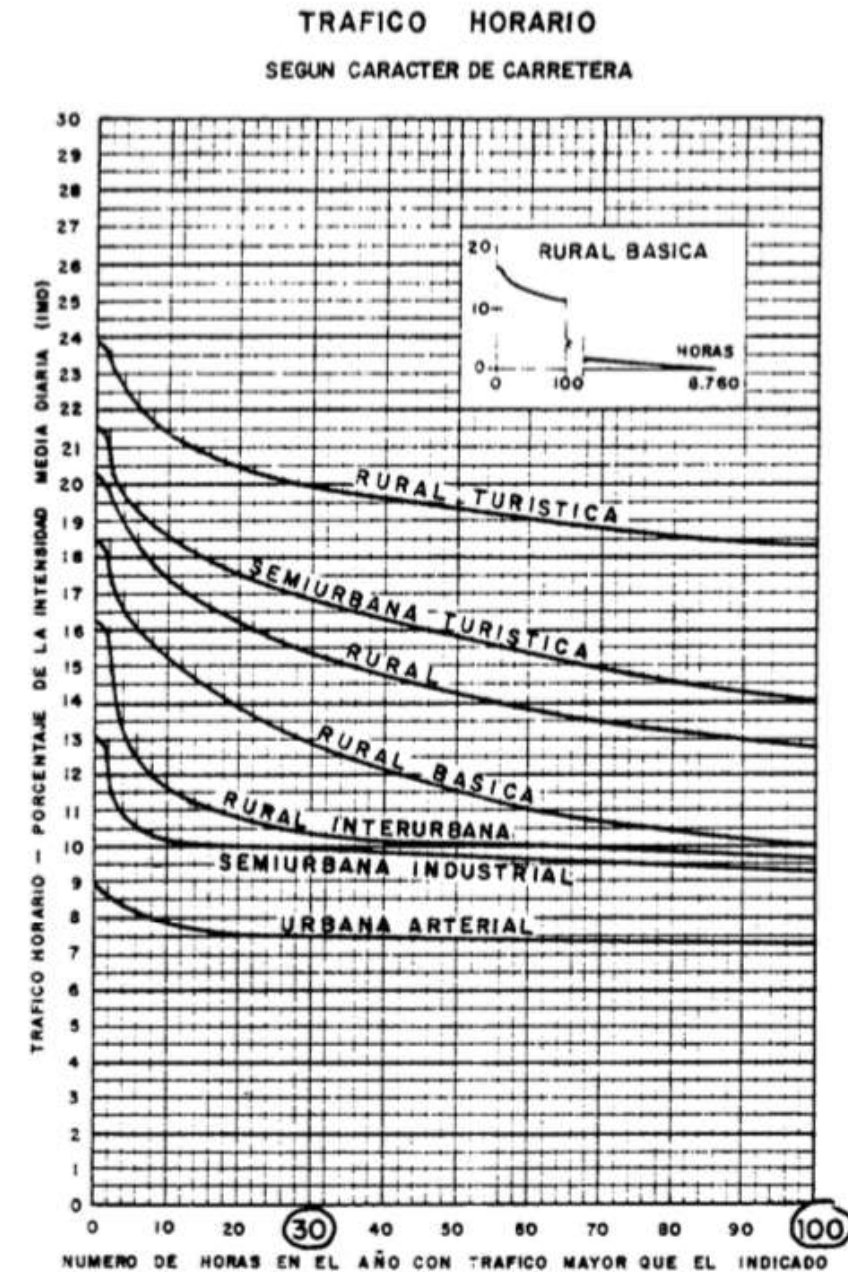


Figura 4 Distribución de intensidad horaria según el carácter de la carretera. Fuente: Norma 3.1 IC

Aplicando la formula, el valor de la intensidad horaria de proyecto  $IHP_{AÑO\ HORIZONTE}$ , se obtiene de la  $IMD_{AÑO\ HORIZONTE}$  que tiene un valor en el año 2038 de 72948 veh/día, pero como tiene una distribución de tráfico de 51,51%, el valor de la  $IMD_{AÑO\ HORIZONTE}$  en sentido ascendente es de 37.583 veh/día.

$$IHP_{AÑO\ HORIZONTE} = 37.583 \times 0,13 = 4886\ veh/h$$



3.3.3.2 Factor de hora punta:

Es la variación no uniforme de la intensidad dentro de la hora punta, viene definido por la fórmula:

Ecuación 6 Factor de hora punta. Fuente: HCM 2010.

$$FHP = \frac{IH}{4 \times I_{15}}$$

Siendo:

- FHP = Factor de hora punta.
- IH = Intensidad horaria.
- I<sub>15</sub> = Intensidad del cuarto de hora más cargado dentro de la hora considerada.

Como se desconocen estos datos, el HCM proporciona unos valores típicos del factor de hora punta FHP, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11 Típicos valores por defecto. Fuente HCM 2010

| Coeficiente | Área   |       |
|-------------|--------|-------|
|             | Urbana | Rural |
| FHP         | 0,92   | 0,88  |

En este caso, el valor de factor de hora punta FHP que se estima para el cálculo según el tipo de carretera del tramo de estudio, es de 0,9.

3.3.3.3 Factor de pesados f<sub>p</sub>:

El factor corrector para vehículos pesados viene definido por la siguiente formula:

Ecuación 7 Factor de pesados f<sub>p</sub>

$$f_p = \frac{100}{100 + P_C \times (E_C - 1) + P_R \times (E_R - 1)}$$

Siendo:

- f<sub>p</sub> = Factor de pesados.
- P<sub>C</sub> = Es el % de vehículos pesados.
- P<sub>R</sub> = Es el % de vehículos recreativos.
- E<sub>C</sub> = Factor de turismos equivalentes de pesados.
- E<sub>R</sub> = Factor de turismos equivalentes de recreativos.

Tabla 12 Valores de E<sub>C</sub> y E<sub>R</sub>. Fuente: HCM 2010

| Vehículo       | Valores de E <sub>C</sub> y E <sub>R</sub> |          |           |
|----------------|--|----------|-----------|
|                | Llano                                      | Ondulado | Montañoso |
| E <sub>C</sub> | 1,5  | 2,5      | 4,5       |
| E <sub>R</sub> | 1,2  | 2        | 4         |

Según el apartado de 3.3.1 datos del tramo de estudio, el tipo de terreno en la zona es llano, por lo tanto, el valor de E<sub>C</sub> es de 1,5 y el valor de E<sub>R</sub> no nos afecta en el cálculo, porque no tenemos vehículos recreativos.

El % de vehículos pesados es de P<sub>C</sub> = 22,58 %, por lo tanto, el valor del factor de pesados f<sub>p</sub> se expresa de la siguiente forma:

$$f_p = \frac{100}{100 + 22,58 \times (1,5 - 1)} = 0,8986$$



Con todos estos valores calculados se puede obtener el valor de la intensidad de demanda. En la siguiente tabla se puede apreciar un resumen de todas las variables necesarias para el cálculo de la Intensidad de demanda.

$$I_D = \frac{I}{FHP \times N \times f_p \times f_H}$$

Tabla 13 Resumen datos Intensidad de demanda. Fuente: Elaboración propia

| Resumen datos Intensidad de demanda I <sub>D</sub> |        |       |
|--|--------|-------|
| I  | 4886   | veh/h |
| FHP  | 0,9    |       |
| N  | 3      |       |
| f <sub>p</sub>                                     | 0,8986 |       |
| f <sub>H</sub>                                     | 0,9    |       |

Donde:

$$I_D = \frac{4886}{0,9 \times 3 \times 0,8986 \times 0,9} = 2237,48 \text{ tur/h}$$

#### 3.3.4 Densidad (Sentido Ascendente) 2038.

Como se ha explicado anteriormente, en autovías el nivel de servicio se obtiene estableciendo la densidad. La densidad del tramo de estudio de la autovía se obtiene en función de la intensidad de demanda I<sub>D</sub> y de la velocidad de operación V<sub>LO</sub>.

La densidad se mide en tur/h/carril, viene definida por la siguiente formula:

Ecuación 8 Densidad. Fuente: HCM 2010

$$D = \frac{I_D}{V_{LO}}$$

Siendo:

- I<sub>D</sub> = Intensidad de demanda.
- V<sub>LO</sub> = Velocidad libre de operación.

Con el resultado de la densidad se obtiene el nivel de servicio según la tabla 14. Dependiendo entre que valores se encuentra el resultado le corresponde el nivel de servicio adecuado.

$$D = \frac{2237,48}{67,04} = 33,38 \text{ tur/h/carril}$$

Tabla 14 Niveles de servicio. Fuente HCM 2010

| LOS | Densidad tur/h/carril |
|-----|-----------------------|
| A   | <= 11                 |
| B   | >11-18                |
| C   | >18-26                |
| D   | >26-35                |
| E   | >35-45                |
| F   | >45                   |

Como el valor de la densidad es de 33,38 tur/h/carril, el nivel de servicio en el año horizonte es D, el valor está comprendido entre 26 y 35.

Por lo tanto, como el tramo de estudio es una autovía el nivel de servicio se tiene que calcular en los dos sentidos, ya que la distribución del tráfico es de 51,52 sentido ascendente y 48,48 sentido descendente.

El procedimiento para realizar el cálculo del nivel de servicio es el mismo que para el sentido ascendente.



### 3.3.5 Estimación de la Velocidad libre de operación VLO (Sentido Descendente) 2038.

Las correcciones aplicadas a este tipo de tramo, procedentes del HCM 2010, se definen a continuación:

*Ecuación 9 Estimación de la Velocidad libre de operación. Fuente HCM 2010.*

$$V_{LO} = 75,4 - f_a - f_o - 3,22 \times TRD^{0.84}$$

Siendo:

- $V_{LO}$  = Velocidad libre de operación.
- $f_a$  = Ancho del carril en pies.
- $f_o$  = Ancho del arcén derecho en pies.
- TRD = Número de accesos por milla.

Para el cálculo de velocidad libre de operación en sentido descendente, los valores no cambian, ya que las características de la carretera son iguales en sentido ascendente y sentido descendente.

Por lo tanto, el valor de la velocidad libre de operación en sentido descendente es:

*Tabla 15 Resumen coeficientes de ajuste para VLO. Fuente: Elaboración propia.*

| $f_a$ | $f_o$ | TRD    |
|-------|-------|--------|
| 0,988 | 0     | 2,6817 |

$$V_{LO} = 75,4 - 0,988 - 0 - 3,22 \times 2,6817^{0.84} = 67,04 \text{ mi/h}$$

### 3.3.6 Determinación de la Intensidad de demanda $I_D$ (Sentido Descendente) 2038.

En este caso, el cálculo de la Intensidad de demanda el procedimiento es el mismo que en el sentido ascendente. Pero hay una variación del tráfico en sentido descendente.

Las correcciones aplicadas a este tipo de tramo, procedentes del HCM 2010, se definen a continuación:

*Ecuación 10 Intensidad de demanda. Fuente: HCM 2010.*

$$I_D = \frac{I}{FHP \times N \times f_p \times f_H}$$

Siendo:

- $I_D$  = La intensidad demanda en turismos/hora.
- $I$  = La intensidad punta o estudio en vehículos/hora.
- FHP = Factor de hora punta, suele ser de 0,85 zona rural y 0,98 en zona urbana.
- $N$  = Número de carriles en el mismo sentido
- $f_p$  = Factor de pesados.
- $f_H$  = Factor de conductores habituales.

#### 3.3.6.1 Intensidad horaria de proyecto IHP:

Para el cálculo de la IHP se emplea la siguiente formula:

*Ecuación 11 Intensidad horaria de proyecto. Fuente HCM 2010*

$$IHP_{AÑO \text{ HORIZONTE}} = IMD_{AÑO \text{ HORIZONTE}} \times K$$

Siendo:

- $IMD_{AÑO \text{ HORIZONTE}}$  = Intensidad media diaria en el año horizonte.



- K = El valor según el carácter de la carretera, en este caso es una carretera Rural Básica.

Aplicando la formula, el valor de la intensidad horaria de proyecto  $IHP_{AÑO\ HORIZONTE}$ , se obtiene de la  $IMD_{AÑO\ HORIZONTE}$  que tiene un valor en el año 2038 de 72948 veh/día, pero como tiene una distribución de tráfico de 48,48%, el valor de la  $IMD_{AÑO\ HORIZONTE}$  en sentido ascendente es de 35365 veh/día.

$$IHP_{AÑO\ HORIZONTE} = 35.365 \times 0,13 = 4597\ veh/h$$

### 3.3.6.2 Factor de hora punta:

Es la variación no uniforme de la intensidad dentro de la hora punta, viene definido por la fórmula:

Ecuación 12 Factor de hora punta. Fuente: HCM 2010.

$$FHP = \frac{IH}{4 \times I_{15}}$$

Siendo:

- FHP = Factor de hora punta.
- IH = Intensidad horaria.
- $I_{15}$  = Intensidad del cuarto de hora más cargado dentro de la hora considerada.

Como se desconocen estos datos, el HCM proporciona unos valores típicos del factor de hora punta FHP, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16 Típicos valores por defecto. Fuente HCM 2010

| Coeficiente | Área   |       |
|-------------|--------|-------|
|             | Urbana | Rural |
| FHP         | 0,92   | 0,88  |

En este caso, el valor de factor de hora punta FHP que se estima para el cálculo según el tipo de carretera del tramo de estudio, es de 0,9.

### 3.3.6.3 Factor de pesados $f_p$ :

El factor corrector para vehículos pesados viene definido por la siguiente formula:

Ecuación 13 Factor de pesados  $f_p$

$$f_p = \frac{100}{100 + P_C \times (E_C - 1) + P_R \times (E_R - 1)}$$

Siendo:

- $f_p$  = Factor de pesados.
- $P_C$  = Es el % de vehículos pesados.
- $P_R$  = Es el % de vehículos recreativos.
- $E_C$  = Factor de turismos equivalentes de pesados.
- $E_R$  = Factor de turismos equivalentes de recreativos.

Tabla 17 Valores de  $E_C$  y  $E_R$ . Fuente: HCM 2010

| Vehículo | Valores de $E_C$ y $E_R$ |          |           |
|----------|--------------------------|----------|-----------|
|          | Llano                    | Ondulado | Montañoso |
| $E_C$    | 1,5                      | 2,5      | 4,5       |
| $E_R$    | 1,2                      | 2        | 4         |

Según el apartado de 3.3.1 datos del tramo de estudio, el tipo de terreno en la zona es llano, por lo tanto, el valor de  $E_C$  es de 1,5 y el valor de  $E_R$  no nos afecta en el cálculo, porque no tenemos vehículos recreativos.

El % de vehículos pesados es de  $P_C = 22,58\%$ , por lo tanto, el valor del factor de pesados  $f_p$  se expresa de la siguiente forma:

$$f_p = \frac{100}{100 + 22,58 \times (1,5 - 1)} = 0,8986$$





Con todos estos valores calculados se puede obtener el valor de la intensidad de demanda. En la siguiente tabla se puede apreciar un resumen de todas las variables necesarias para el cálculo de la Intensidad de demanda.

$$I_D = \frac{I}{FHP \times N \times f_p \times f_H}$$

Tabla 18 Resumen datos Intensidad de demanda. Fuente: Elaboración propia

| Resumen datos Intensidad de demanda I <sub>D</sub> |        |       |
|--|--------|-------|
| I  | 4597   | veh/h |
| FHP  | 0,9    |       |
| N  | 3      |       |
| f <sub>p</sub>                                     | 0,8986 |       |
| f <sub>H</sub>                                     | 0,9    |       |

Donde:

$$I_D = \frac{4597}{0,9 \times 3 \times 0,8986 \times 0,9} = 2105,46 \text{ tur/h}$$

### 3.3.7 Densidad (Sentido Descendente) 2038.

Como se ha explicado anteriormente, en autovías el nivel de servicio se obtiene estableciendo la densidad. La densidad del tramo de estudio de la autovía se obtiene en función de la intensidad de demanda I<sub>D</sub> y de la velocidad de operación V<sub>LO</sub>.

La densidad se mide en tur/h/carril, viene definida por la siguiente formula:

Ecuación 14 Densidad. Fuente: HCM 2010

$$D = \frac{I_D}{V_{LO}}$$

Siendo:

- I<sub>D</sub> = Intensidad de demanda.
- V<sub>LO</sub> = Velocidad libre de operación.

Con el resultado de la densidad se obtiene el nivel de servicio según la tabla 14. Dependiendo entre que valores se encuentra el resultado le corresponde el nivel de servicio adecuado.

$$D = \frac{2105,46}{67,04} = 31,41 \text{ tur /h /carril}$$

Tabla 19 Niveles de servicio. Fuente HCM 2010

| LOS | Densidad tur/h/carril |
|-----|-----------------------|
| A   | <= 11                 |
| B   | >11-18                |
| C   | >18-26                |
| D   | >26-35                |
| E   | >35-45                |
| F   | >45                   |

En el apartado apéndice I, se ha calculado el nivel de servicio desde el año 2018 hasta 2038. Se podrá apreciar la evolución que tiene la carretera hasta el año horizonte



#### 4 Referencias

1. *Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual (HCM) 2010).*
2. *Norma 3.1 I.C*
3. *Mapa de tráfico*
4. [www.fomento.es](http://www.fomento.es)



## Apéndice I: Evolución del Nivel de Servicio desde 2018 - 2038





Apéndice I: Evolución del nivel de servicio desde 2018 - 2038.

En las siguientes tablas se calcula el nivel de servicio desde el año 2018 hasta 2038, y se podrá ver la evolución del tráfico estimado a partir de 2018. La estimación del tráfico se realiza teniendo en cuenta el crecimiento de 1,44% estipulado por FOM/3317/2010, ‘Tabla 3 Incremento de tráfico’ del presente anejo.

En base a ese crecimiento se pondrá apreciar la evolución que tiene el nivel del servicio. Al ser una autovía el nivel de servicio se calcula para cada sentido. En primer lugar, en sentido ascendente y en segundo lugar en sentido descendente.

Evolución del nivel de servicio sentido ascendente 2018 – 2038:

Tabla 20 Evolución del nivel de servicio ascendente

| SENTIDO ASCENDENTE - 51,52 / 48,48                     |                 |   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|-----------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Año  |                 | 2018  | 2019    | 2020    | 2021    | 2022    | 2023    | 2024    | 2025    | 2026    | 2027    | 2028    | 2029    | 2030    | 2031    | 2032    | 2033    | 2034    | 2035    | 2036    | 2037    | 2038    |
| IMD (Veh/día)  |                 | 28236   | 28643   | 29055   | 29473   | 29898   | 30328   | 30765   | 31208   | 31658   | 32113   | 32576   | 33045   | 33521   | 34004   | 34493   | 34990   | 35494   | 36005   | 36523   | 37049   | 37583   |
| Intensidad Horario Proyecto ( veh/h)                   | IHP             | DETERMINAR EL NIVEL DE SERVICIO               |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|  |                 | 3671  | 3724    | 3777    | 3832    | 3887    | 3943    | 3999    | 4057    | 4115    | 4175    | 4235    | 4296    | 4358    | 4420    | 4484    | 4549    | 4614    | 4681    | 4748    | 4816    | 4886    |
| Valor según el carácter de la carretera                | K               | 13%   | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     |
| Factor de hora punta (veh/h)                           | FHP             | 0,9   | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     |
| Ajuste por ancho de carril (ft)                        | f <sub>a</sub>  | ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD LIBRE DE OPERACIÓN |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|  |                 | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   |
| Ajuste por distancia al obstáculo lateral derecho (ft) | f <sub>o</sub>  | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Número de accesos por milla                            | TRD             | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  |
| Velocidad libre de operación (mill/h)                  | V <sub>LO</sub> | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   |
| Número de carriles                                     | N               | INTENSIDAD DE DEMANDADA I <sub>D</sub>        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|  |                 | 3   | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       |
| Factor de pesados                                      | f <sub>p</sub>  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  |
| Factor de conductores habituales                       | f <sub>h</sub>  | 0,9   | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     |
| Intensidad demandada (tur/h)                           | I <sub>D</sub>  | 1681,03                                       | 1705,23 | 1729,79 | 1754,70 | 1779,97 | 1805,60 | 1831,60 | 1857,97 | 1884,73 | 1911,87 | 1939,40 | 1967,33 | 1995,66 | 2024,39 | 2053,54 | 2083,12 | 2113,11 | 2143,54 | 2174,41 | 2205,72 | 2237,48 |
| Densidad (tur/km/carril)                               | D               | ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD Y DE LA DENSIDAD   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|  |                 | 25,08   | 25,44   | 25,80   | 26,17   | 26,55   | 26,93   | 27,32   | 27,72   | 28,11   | 28,52   | 28,93   | 29,35   | 29,77   | 30,20   | 30,63   | 31,07   | 31,52   | 31,98   | 32,44   | 32,90   | 33,38   |
| NIVEL DE SERVICIO                                      | NS              | NIVEL DE SERVICIO                             |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|  |                 | C   | C       | C       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       |

Como se aprecia en esta tabla, la evolución del nivel de servicio en la actualidad es un NS = *C* con una evolución hasta 2020, el nivel de servicio cambia a un nivel de servicio *D* y se mantiene hasta el 2038.





Evolución del nivel de servicio sentido descendente 2018 - 2038

Tabla 21 Evolución del nivel de servicio descendiente. Fuente: Elaboración propia

| SENTIDO DESCENDENTE - 48,48 / 51,52                    |                 |   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|--|-----------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Año  |                 | 2018  | 2019    | 2020    | 2021    | 2022    | 2023    | 2024    | 2025    | 2026    | 2027    | 2028    | 2029    | 2030    | 2031    | 2032    | 2033    | 2034    | 2035    | 2036    | 2037    | 2038    |
| IMD (Veh/día)  |                 | 26570   | 26953   | 27341   | 27734   | 28134   | 28539   | 28950   | 29367   | 29790   | 30219   | 30654   | 31095   | 31543   | 31997   | 32458   | 32925   | 33399   | 33880   | 34368   | 34863   | 35365   |
|  |                 | DETERMINAR EL NIVEL DE SERVICIO               |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Intensidad Horario Proyecto ( veh/h)                   | IHP             | 3454  | 3504    | 3554    | 3605    | 3657    | 3710    | 3763    | 3818    | 3873    | 3928    | 3985    | 4042    | 4101    | 4160    | 4220    | 4280    | 4342    | 4404    | 4468    | 4532    | 4597    |
| Valor según el carácter de la carretera                | K               | 13%   | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     | 13%     |
| Factor de hora punta (veh/h)                           | FHP             | 0,9   | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     |
|  |                 | ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD LIBRE DE OPERACIÓN |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Ajuste por ancho de carril (ft)                        | f <sub>a</sub>  | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   | 0,988   |
| Ajuste por distancia al obstáculo lateral derecho (ft) | f <sub>o</sub>  | 0   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Número de accesos por milla                            | TRD             | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  | 2,6817  |
| Velocidad libre de operación (mill/h)                  | V <sub>LO</sub> | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   | 67,04   |
|  |                 | INTENSIDAD DE DEMANDADA I <sub>D</sub>        |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Número de carriles                                     | N               | 3   | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       | 3       |
| Factor de pesos  | f <sub>p</sub>  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  | 0,8986  |
| Factor de conductores habituales                       | f <sub>h</sub>  | 0,9   | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     | 0,9     |
| Intensidad demandada (tur/h)                           | I <sub>D</sub>  | 1581,84                                       | 1604,61 | 1627,72 | 1651,16 | 1674,94 | 1699,06 | 1723,52 | 1748,34 | 1773,52 | 1799,06 | 1824,96 | 1851,24 | 1877,90 | 1904,94 | 1932,37 | 1960,20 | 1988,43 | 2017,06 | 2046,10 | 2075,57 | 2105,46 |
|  |                 | ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD Y DE LA DENSIDAD   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Densidad (tur/km/carril)                               | D               | 23,60   | 23,94   | 24,28   | 24,63   | 24,98   | 25,34   | 25,71   | 26,08   | 26,46   | 26,84   | 27,22   | 27,61   | 28,01   | 28,42   | 28,83   | 29,24   | 29,66   | 30,09   | 30,52   | 30,96   | 31,41   |
|  |                 | NIVEL DE SERVICIO                             |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| NIVEL DE SERVICIO                                      | NS              | C   | C       | C       | C       | C       | C       | C       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       | D       |

Como se aprecia en esta tabla, la evolución del nivel de servicio en la actualidad es un NS = C con una evolución hasta 2024, el nivel de servicio cambia a un nivel de servicio **D** y se mantiene hasta el 2038.

En la siguiente tabla del *Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual (HCM) 2010)*, observa los valores para cada nivel de servicio.

| LOS | Densidad tur/h/carril |
|-----|-----------------------|
| A   | <= 11                 |
| B   | >11-18                |
| C   | >18-26                |
| D   | >26-35                |
| E   | >35-45                |
| F   | >45                   |



Según la Norma 3.1 IC el nivel de servicio mínimo en la hora de proyecto del año horizonte, que tiene que cumplir la carretera en función del tipo de carretera y la velocidad de proyecto.

El tramo de estudio es una autovía con una velocidad de proyecto de 100 km/h, por tanto, según los cálculos realizados en las tablas de evolución del nivel de servicio, se puede comprobar que la carretera cumple con el mínimo nivel de servicio en el año horizonte que es D.

| CLASE DE CARRETERA   | VELOCIDAD DE PROYECTO<br>(V <sub>p</sub> )<br>(km/h) | ANCHO (m)   |                      |                    |                 | NIVEL DE SERVICIO MÍNIMO EN LA HORA DE PROYECTO DEL AÑO HORIZONTE |
|--|--|-------------|----------------------|--------------------|-----------------|---|
|  |  | CARRILES    | ARCENES              |                    | BERMAS (MÍNIMO) |   |
|  |  |             | INTERIOR / IZQUIERDO | EXTERIOR / DERECHO |                 |   |
| Autopista y autovía  | 140, 130 y 120                                       | 3,50        | 1,00 / 1,50          | 2,50               | 1,00            | C   |
|  | 110 y 100  | 3,50        | 1,00 / 1,50          | 2,50               | 1,00            | D   |
|  | 90 y 80  | 3,50        | 1,00                 | 2,50               | 1,00            | D   |
| Carretera multicarril  | 100  | 3,50        | 1,00 / 1,50          | 2,50               | 1,00            | D   |
|  | 90 y 80  | 3,50        | 1,00                 | 2,50               | 1,00            | D   |
|  | 70 y 60  | 3,50        | 0,50 / 1,00          | 1,50 / 2,50        | 1,00            | E   |
|  | 50 y 40  | 3,25 a 3,50 | 0,50 / 1,00          | 1,00 / 1,50        | 0,50            | E   |
| Carretera convencional   | 100  | 3,50        | 2,50                 |                    | 1,00            | D   |
|  | 90 y 80  | 3,50        | 1,50                 |                    | 1,00            | D   |
|  | 70 y 60  | 3,50        | 1,00 / 1,50          |                    | 0,75            | E   |
|  | 50 y 40  | 3,00 a 3,50 | 0,50 / 1,00          |                    | 0,50            | E   |
| Vía colectora - distribuidora y ramal de enlace de sentido único   | 100  | 3,50        | 1,50                 | 2,50               | 1,00            | D   |
|  | 90 y 80  | 3,50        | 1,00 / 1,50          | 2,50               | 1,00            | D   |
|  | 70 y 60  | 3,50        | 1,00 / 1,50          | 2,50               | 1,00            | E   |
|  | 50 y 40  | 3,50        | 0,50 / 1,00          | 1,50 / 2,50        | 1,00            | E   |
| Ramal de enlace de doble sentido   | 100  | 3,50        | 2,50                 |                    | 1,00            | D   |
|  | 90 y 80  | 3,50        | 2,50                 |                    | 1,00            | D   |
|  | 70 y 60  | 3,50        | 2,50                 |                    | 1,00            | E   |
|  | 50 y 40  | 3,50        | 1,50 / 2,50          |                    | 1,00            | E   |
| Vía de servicio de sentido único   | 90 y 80  | 3,50        | 1,00                 | 1,50               | 1,00            | D   |
|  | 70 y 60  | 3,50        | 1,00                 | 1,00 / 1,50        | 0,75            | E   |
|  | 50 y 40  | 3,00 a 3,50 | 0,50 / 1,00          | 1,00               | 0,50            | E   |
| Vía de servicio de doble sentido   | 90 y 80  | 3,50        | 1,50                 |                    | 1,00            | D   |
|  | 70 y 60  | 3,50        | 1,00 / 1,50          |                    | 0,75            | E   |
|  | 50 y 40  | 3,00 a 3,50 | 0,50 / 1,00          |                    | 0,50            | E   |
| Si los ramales de enlace, los ramales de transferencia, las vías colectoras - distribuidoras, las vías de servicio y las vías laterales solo tuviesen un carril su ancho será de cuatro metros (4,00 m) y, en curvas, tres metros y cincuenta centímetros (3,50 m) más el sobreancho correspondiente (epígrafe 7.3.5) con un valor mínimo de cuatro metros (≥ 4,00 m). |  |             |                      |                    |                 |   |

Tabla 22 Nivel de servicio mínimo del año horizonte. Fuente: Norma 3.1 IC