



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ANEJO Nº9

CONSISTENCIA Y SEGURIDAD VIAL

Autor:

Victor Manuel Ramos Melendez

Tutor:

Francisco Javier Camacho Torregrosa

Cotutor:

David Llopis Castelló





ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Consistencia	4
2.1 Velocidad de operación	4
2.2 Consistencia Local	5
2.3 Consistencia Global	6
2.3.1 Modelo de Camacho-Torregrosa (2015)	6
2.3.2 Modelo de Llopis-Castelló et al. (2018)	7
3. Seguridad vial	8
3.1 Accidentes según Camacho-Torregrosa (2015)	8
3.2 Accidentes según Llopis-Castello et al. (2018)	8
4. Conclusión	8



1. Introducción

El diseño del acondicionamiento de una carretera debe centrarse no únicamente en el cumplimiento de la normativa ya que como es en este caso, hay veces que se hace imposible o muy costoso el cumplimiento al 100% de la normativa debido a la zona en donde se encuentra la carretera y su entorno. Es por esto que la consistencia es un factor bastante importante a tener en cuenta, ya que, una carretera que no cumpla normativa en todos los puntos de su trazado puede igual proyectarse siempre y cuando cumpla con los criterios de consistencia y se pruebe que el trazado no representa un peligro inminente para el usuario.

2. Consistencia

El análisis de la seguridad del trazado se hará por medio de la consistencia la cual se define como el grado de adecuación entre las expectativas de los conductores y el comportamiento de la carretera.

En este análisis se utilizará para evaluar la consistencia del diseño geométrico de la carretera la velocidad asociada al percentil 85 (V_{85}), la cual se define como la velocidad a la cual operan los vehículos ligeros en condiciones de flujo libre y sin ningún tipo de restricción ambiental.

Esta consistencia se analiza tanto a nivel local, basándose en el análisis de un elemento aislado del trazado a partir de la deceleración entre elementos sucesivos, como a nivel global, el cual evalúa la consistencia de un tramo completo a través de diferentes variables obtenidas del perfil continuo de velocidad.

2.1 Velocidad de operación

Como se mencionó anteriormente, para el análisis de la consistencia, primero se ha extraído de Autodesk Civil 3D el estado de alineaciones de la carretera, para poder así estimar el percentil 85 de la velocidad a la que transitan los conductores en condiciones de flujo libre.

La obtención de dichas velocidades se ha hecho a través de un software informático facilitado por los tutores Francisco Javier Camacho Torregrosa y David Llopis Castelló, dando como resultado la gráfica 1 y 2 de velocidad de operación en sentido creciente y decreciente respectivamente.

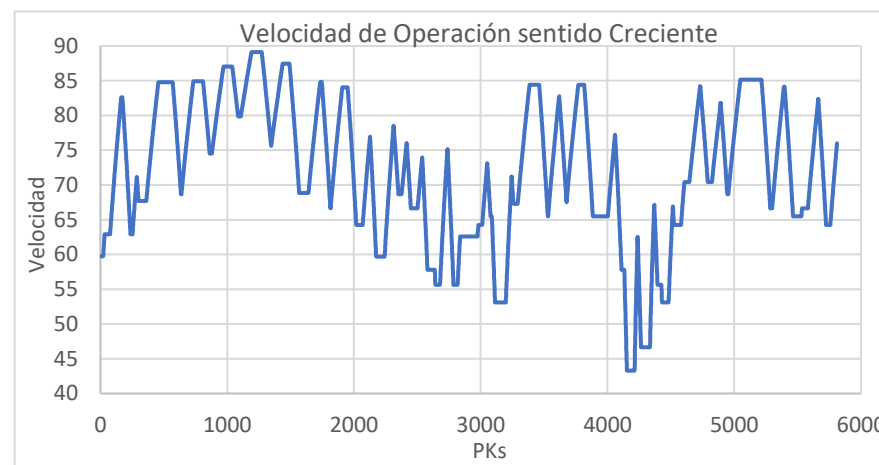


Gráfico 1: Perfil de velocidad de operación sentido creciente Fuente: Elaboración propia

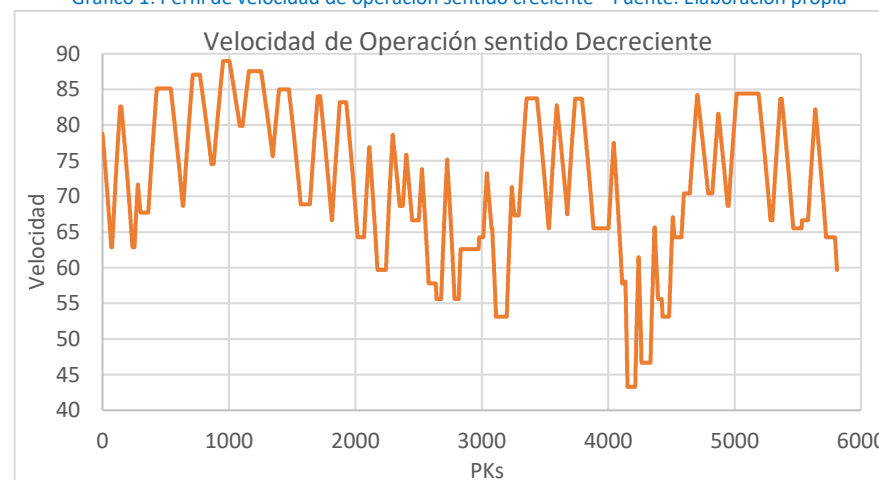


Gráfico 2: Perfil de velocidad de operación sentido decreciente Fuente: Elaboración propia



2.2 Consistencia Local

Para el análisis de la consistencia local se utilizará el criterio propuesto en la Normativa de trazado española, la cual se corresponde con el criterio II de Lamm et al. (1988). Este es el criterio más empleado para identificar problemas puntuales en el diseño.

Está definido como la diferencia de las velocidades de operación entre elementos consecutivos, por lo que mediante este criterio se pueden identificar que transiciones recta-curva son los causantes de decrementos significativos de la velocidad de operación.

Este criterio establece 3 grupos de consistencia dependiendo de la velocidad que se decrementa (tabla 1):

- Consistencia Buena: Cuando el decremento de velocidad de operación es inferior a 10 km/h
- Consistencia Pobre: Cuando el decremento de la velocidad de operación supera los 20km/h
- Consistencia Aceptable. Cuando el decremento de la velocidad de operación se encuentra entre los dos anteriores (10km/h y 20 km/h).

Buena	Aceptable	Pobre
$V_{85\ i+1} - V_{85\ i} \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} < V_{85\ i+1} - V_{85\ i} \leq 20 \text{ km/h}$	$V_{85\ i+1} - V_{85\ i} > 20 \text{ km/h}$

Tabla 1: Criterio II de Lamm et al. (1988)

Este criterio debe realizarse para cada uno de los sentidos de la carretera, es decir, tanto en sentido creciente como decreciente, debido a que una zona que resulta un problema en un sentido de circulación no obligatoriamente tiene que ser un problema en el sentido contrario.

En la tabla 2 se muestra el resultado del análisis en sentido creciente, en donde cómo se puede observar, se ha logrado mejorar la consistencia con respecto a la carretera actual (visto en el "Anejo Nº2 Situación Actual"), adaptando el trazado para llegar a una consistencia local buena o aceptable a lo largo de toda la traza.

CONSISTENCIA SEGÚN LAMM II CRECIENTE					
PK inicial	PK final	V. inicial (km/h)	V. final (km/h)	Decremento (km/h)	Tipo de inconsistencia
173	237	82,64	62,89	19,74	Aceptable
287	300	71,15	67,71	3,44	Buena
570	635	84,8	68,68	16,12	Aceptable
809	862	84,93	74,53	10,4	Aceptable
1.039	1.086	87,04	79,87	7,16	Buena
1.272	1.346	89,12	75,63	13,49	Aceptable
1.491	1.568	87,46	68,87	18,6	Aceptable
1.746	1.814	84,84	66,65	18,18	Aceptable
1.950	2.018	84,06	64,26	19,8	Aceptable
2.127	2.175	76,94	59,68	17,26	Aceptable
2.313	2.351	78,53	68,68	9,85	Buena
2.416	2.449	76,03	66,65	9,38	Buena
2.538	2.580	73,95	57,78	16,17	Aceptable
2.637	2.642	57,78	55,61	2,17	Buena
2.738	2.785	75,16	55,61	19,55	Aceptable
3.052	3.077	73,07	65,51	7,56	Buena
3.087	3.113	65,51	53,11	12,4	Aceptable
3.244	3.258	71,21	67,3	3,91	Buena
3.461	3.529	84,4	65,51	18,89	Aceptable
3.619	3.677	82,77	67,5	15,27	Aceptable
3.816	3.884	84,43	65,51	18,92	Aceptable
4.060	4.111	77,25	57,78	19,47	Aceptable
4.132	4.153	57,78	43,29	14,49	Aceptable
4.238	4.264	62,56	46,66	15,9	Aceptable
4.369	4.395	67,13	55,61	11,52	Aceptable



4.425	4.430	55,61	53,11	2,5	Buena
4.516	4.524	66,91	64,26	2,65	Buena
4.731	4.791	84,23	70,43	13,8	Aceptable
4.893	4.945	81,81	68,68	13,13	Aceptable
5.214	5.284	85,15	66,65	18,49	Aceptable
5.397	5.464	84,12	65,51	18,61	Aceptable
5.663	5.724	82,33	64,26	18,07	Aceptable

Tabla 2: Consistencia local según Lamm II et al. (2018) sentido creciente Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, en la tabla 3 se observa como se ha logrado el mismo resultado, mejorando exitosamente la consistencia local también en sentido decreciente.

CONSISTENCIA SEGÚN LAMM II					
PK inicial	PK final	V. inicial (km/h)	V. final (km/h)	Decremento (km/h)	Tipo de inconsistencia
5.639	5.581	82,23	66,65	15,58	Aceptable
5.534	5.530	66,65	65,51	1,14	Buena
5.363	5.299	83,71	66,65	17,05	Aceptable
5.017	4.953	84,41	68,68	15,73	Aceptable
4.871	4.824	81,6	70,43	11,18	Aceptable
4.706	4.646	84,23	70,43	13,8	Aceptable
4.600	4.580	70,43	64,26	6,17	Buena
4.512	4.482	67,09	53,11	13,98	Aceptable
4.367	4.335	65,68	46,66	19,01	Aceptable
4.241	4.214	61,48	43,29	18,19	Aceptable
4.136	4.135	58,09	57,78	0,31	Buena
4.044	4.003	77,46	65,51	11,95	Aceptable
3.740	3.677	83,71	67,5	16,2	Aceptable
3.594	3.532	82,78	65,51	17,27	Aceptable
3.355	3.292	83,75	67,3	16,46	Aceptable

3.238	3.198	71,32	53,11	18,21	Aceptable
3.041	3.012	73,2	64,26	8,94	Buena
2.980	2.975	64,26	62,6	1,66	Buena
2.834	2.818	62,6	55,61	6,99	Buena
2.726	2.679	75,16	55,61	19,55	Aceptable
2.527	2.502	73,79	66,65	7,13	Buena
2.403	2.376	75,81	68,68	7,13	Buena
2.296	2.242	78,61	59,68	18,93	Aceptable
2.111	2.069	76,92	64,26	12,66	Aceptable
1.878	1.816	83,2	66,65	16,54	Aceptable
1.703	1.641	84,04	68,87	15,17	Aceptable
1.397	1.347	85,01	75,63	9,38	Buena
1.159	1.108	87,58	79,87	7,7	Buena
955	879	88,98	74,53	14,45	Aceptable
715	639	87,05	68,68	18,37	Aceptable
431	362	85,15	67,71	17,44	Aceptable
280	253	71,65	62,89	8,76	Buena
141	76	82,64	62,89	19,74	Aceptable

Tabla 3: Consistencia local según Lamm II et al (1988) sentido decreciente Fuente: Elaboración Propia

2.3 Consistencia Global

2.3.1 Modelo de Camacho-Torregrosa (2015)

Para el análisis de la consistencia global se utilizará el modelo de consistencia de Camacho-Torregrosa (2015) el cual está compuesto por dos variables, la velocidad de operación media y la tasa de deceleración media de los conductores a lo largo de un tramo de carretera.

Debido a esto, una carretera que presenta una mayor velocidad de operación media y una tasa de deceleración menor, tendrán un menor número de accidentes. Para este análisis se utiliza la siguiente expresión:

$$C = \sqrt[3]{\frac{V_{85}}{d_{85}}}$$

En donde:

C= Parámetro de consistencia

V_{85} = Velocidad de operación media

d_{85} = deceleración media

Para este criterio se han establecido 3 umbrales de consistencia (Tabla 4):

- Buena: En donde el nivel de consistencia es mayor a $3,25 \text{ s}^{1/3}$
- Pobre: En donde la consistencia es menor a $2,55 \text{ s}^{1/3}$
- Aceptable: Cuando la consistencia se encuentra entre los dos valores anteriores ($3,25$ y $2,55 \text{ s}^{1/3}$)

Buena	Aceptable	Pobre
$C \geq 3,25 \text{ s}^{1/3}$	$2,55 \text{ s}^{1/3} \leq C < 3,25 \text{ s}^{1/3}$	$C < 2,55 \text{ s}^{1/3}$

Tabla 4: Modelo de consistencia global de Camacho-Torregrosa (2015)

Del análisis de la consistencia mediante este modelo, se ha obtenido que la consistencia global del tramo es de $2,29 \text{ s}^{1/3}$, lo que clasifica como una consistencia pobre por lo que deberán de utilizarse otros métodos, como señales de tráfico para así advertir a los conductores de los posibles peligros que conseguirán a lo largo de la carretera.

2.3.2 Modelo de Llopis-Castelló et al. (2018)

La consistencia global también se puede obtener mediante el modelo de cálculo propuesto por Llopis-Castelló et al. (2018), que propone el empleo de la velocidad de operación inercial, que trata de representar el proceso de generación de expectativa de los conductores y su comportamiento en la carretera.

La velocidad inercial propuesta en este modelo, frente a la de operación se muestra en el gráfico 3 y 4.

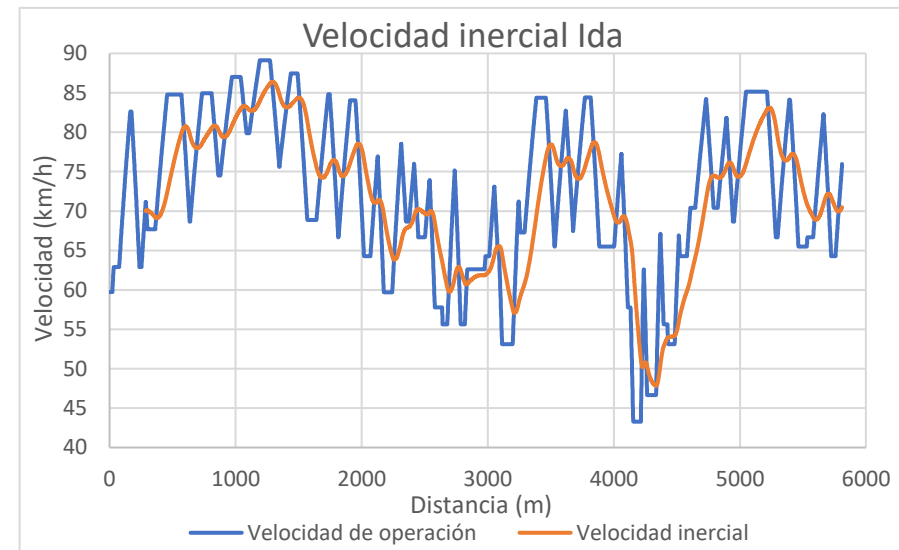


Gráfico 3: Perfil de velocidad de operación e inercial sentido creciente Fuente: Elaboración propia

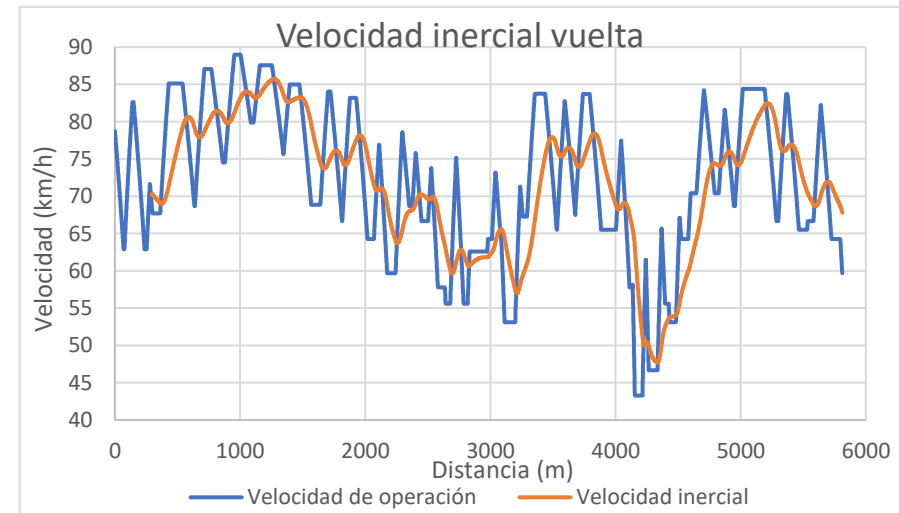


Gráfico 4: Perfil de velocidad de operación e inercial sentido decreciente Fuente: Elaboración propia



Una vez obtenida la velocidad inercial se puede estimar la consistencia global de la carretera, para ello, se hace uso de la siguiente expresión:

$$C = \sqrt{\frac{A(+) \cdot \sigma(+)}{L(+)}}$$

En donde:

C= Consistencia Global

A(+)= Área encerrada por el diagrama diferencia entre V_i y V_{85}

$\sigma(+)$ = Desviación estándar de la diferencia entre V_i y V_{85} considerando únicamente las diferencias positivas

L(+)= Longitud de tramo de carretera donde se produce las diferencias positivas entre V_i y V_{85}

Como en los casos anteriores, este modelo clasifica la consistencia según 3 umbrales (Tabla5):

- Buena: Valor de la consistencia menor a 2,75 km/h
- Pobre: Valor de consistencia mayor a 4,5km/h
- Aceptable: Valor de consistencia entre las dos anteriores (2,75 y 4,5 km/h)

Buena	Aceptable	Pobre
$C \leq 2,75 \text{ km/h}$	$2,75 \text{ km/h} < C \leq 4,5 \text{ km/h}$	$C > 4,5 \text{ km/h}$

Tabla 5: Modelo de consistencia global de Llopis-Castelló (2018)

Del análisis de la consistencia mediante este modelo, se ha obtenido que la consistencia global del tramo es de 4,30 Km/h lo que la cataloga como consistencia aceptable. Sin embargo, se encuentra muy cerca del límite de una consistencia pobre ($C > 4,5 \text{ km/h}$).

3. Seguridad vial

Tanto el modelo de Camacho-Torregrosa (2015) como el de Llopis-Castello et al (2018) permite, estimar cual sería el numero esperado de accidentes con víctimas que sucederán en la carretera en los próximos 10 años.

3.1 Accidentes según Camacho-Torregrosa (2015)

Para obtener la siniestralidad del trazado en los próximos 10 años con este modelo se utiliza la siguiente expresión:

$$y_{i,10} = e^{-4,26225} \cdot L^{1,13196} \cdot IMD^{0,85298} \cdot e^{-0,6574 \cdot C}$$

En donde:

$y_{i,10}$ = Accidentes con victima estimados en 10 años.

IMD= Intensidad media diaria

L= Longitud del segmento de carretera

C= Consistencia global del tramo

A partir de esta expresión se obtiene que son 15 los accidentes con víctimas esperados en la carretera en los próximos 10 años.

3.2 Accidentes según Llopis-Castello et al. (2018)

Para el cálculo de la estimación de los accidentes con víctimas en los próximos 10 años a través del modelo de Llopis-Castelló et al. (2018), se utiliza la siguiente expresión:

$$y_{i,10} = e^{-6,6479} \cdot L^{1,02645} \cdot IMD^{0,86684} \cdot e^{0,14774 \cdot C}$$

Cuya nomenclatura coincide con la especificada en el punto 3.1.

Realizando los cálculos referentes, se obtiene que el numero esperado será de 12 accidentes con víctimas en los próximos 10 años.

4. Conclusión

Como se ha podido ver en el análisis por los distintos modelos propuestos, la carretera acondicionada ha logrado subsanar todos los problemas en cuanto a la consistencia local ya que en cada uno de sus puntos se ha obtenido valores correspondientes a consistencia local buena o aceptable.



Sin embargo, en cuanto a la consistencia global no se puede decir lo mismo ya que mediante el modelo de Camacho-Torregrosa (2015), a pesar de los cambios, la carretera sigue teniendo una consistencia global pobre. Mientras que el modelo de Llopis Castello et al (2018) se cataloga como una consistencia global aceptable pero muy cerca del límite de pobre. Para la mejoría de este aspecto la carretera debe de ser sometida a cambios de mayor envergadura, lo que se hace imposible en una actuación de acondicionamiento.

Para garantizar la seguridad de los usuarios se propone la utilización exhaustiva de señales de tráfico a lo largo de todo el trazado, advirtiendo a los conductores de los posibles peligros que se vendrán en los próximos metros.