5. Aplicación del algoritmo a un caso real

Tras definir el algoritmo de fusión de datos de tiempos de viaje en el capitulo 4 de este documento, se decide analizar su funcionamiento a partir de un caso real. Siendo este estudio parte de un análisis de mayor envergadura realizado por CENIT-UPC para Abertis, grupo empresarial que gestiona entre otras la autopista AP-7, sujeto del presente estudio en el tramo comprendido entre La Roca del Valles (PK 128) y la frontera francesa (PK 0).

5.1 Descripción de la situación

Como no se disponen de datos de tiempos de viaje de dicha carretera se utiliza para el estudio datos obtenidos por la Universidad de Berkeley (Smilowitz 1998).

Dichos datos corresponden a la carretera convencional de San Pablo Dam, que dispone de un carril por sentido y esta situada entre dos cruces semaforizados. Además se caracteriza por tener una velocidad máxima legal establecida de 50mph (aprox. 80 km/h) y por no tener puntos de adelantamiento en el tramo de estudio, así como carecer de puntos de entrada y salida de vehículos. La longitud del tramo de estudio es de aproximadamente 6 km (de Observador 0 a Observador 8). Es así un tramo ideal para la toma de tiempos de viaje de forma sencilla, hipotizando que los vehículos tienen un comportamiento FIFO (Primero que Entra es el Primero que Sale)

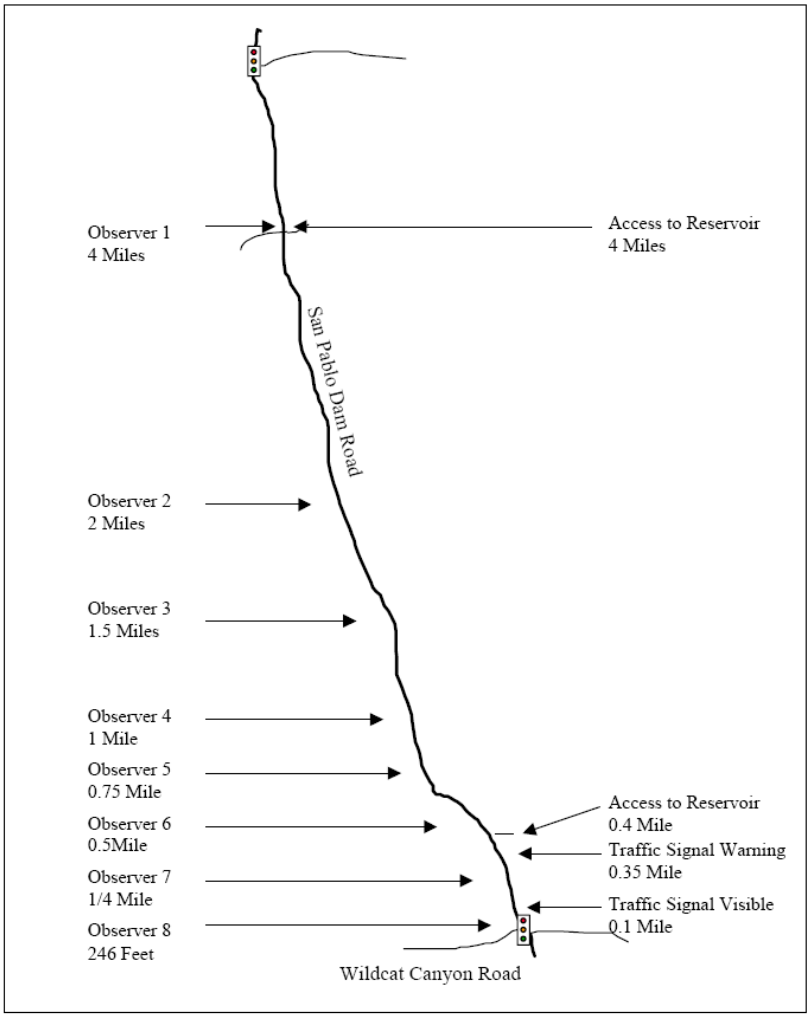

Figura 18: San Pablo Dam Road. Fuente: Smilowitz 1998

La información se presenta en dos formatos. Por una parte los datos primarios y por otra los filtrados. Eligiendo los datos filtrados, ya que el objeto de este documento es la fusión de tiempos de viaje y no el análisis detallado estadístico de muestras de población.

Dicha toma de datos se realiza mediante la ubicación de 8 observadores que registran el paso de los vehículos entre las 6:45 a.m. y las 9:00 a.m. los días 18 y 20 de noviembre de 1997. Diferenciando ambas campañas con los nombres de Datos1 y Datos 2.

Conteniendo, los citados datos, información del momento de paso de cada vehiculo (de forma individualizada), de la clase del vehiculo y del numero otorgado al vehiculo para su identificación a su paso por los diferentes puntos de control. De dicho número aparece su valor medido y el ajustado tras la eliminación por parte de los miembros de la Universidad de Berkeley de los errores detectados. Para el presente estudio se utilizarán los datos corregidos.

Observer 1				Observer 2				Observer 3			
Distance		0		Distance		9504		Distance		11847	
Total Count		403		Total Count		402		Total Count		396	
Adj Factor		0,9938		Adj Factor		0,9962687		Adj Factor		1,01136	
A	**B**	**C**	**D**	**A**	**B**	**C**	**D**	**A**	**B**	**C**	**D**
class	time	act	adj	class	time	act	adj	class	time	act	adj
B	6:47:46	1	1	b	6:49:57	1	1	b	6:50:27	1	1
T	6:47:51	2	2	a	6:50:01	2	2	a	6:50:31	2	2
A	6:47:52	3	3	a	6:50:03	3	3	a	6:50:32	3	3
A	6:47:53	4	4	a	6:50:04	4	4	a	6:50:33	4	4

Tabla 14: Formato datos San Pablo Dam Road

Los observadores se disponen a lo largo de la vía como se detalla en la figura 18. Por lo que el distanciamiento entre ellos (ya convertido a metros) corresponde a los datos presentados en la Tabla 15.

Observador	Distancia total [m]	Distancia parcial [m]
Observador 1	0	0
Observador 2	2897	2897
Observador 3	3611	714
Observador 4	4506	895
Observador 5	4755	249
Observador 6	5364	608
Observador 7	5713	349
Observador 8	6039	326

Tabla 15: Ubicación de los observadores. Fuente: Smilowitz 1998

Como se puede observar las características de esta vía no coincide en absoluto con las de la AP-7 que es una autopista con dos calzadas que comprenden de 2 a 3 carriles por sentido, y con una velocidad legal máxima de 120 km/h. Pero dado que el sistema de fusión representa estas diferencias al analizar los valores limites de probabilidad de estado del tráfico, se aceptará que el resultado es representativo.

De la AP-7 se cuenta con datos de la ubicación de los sensores y de la clase a la que pertenecen. Así se sabe que los TVR se obtienen a partir de los tickets de los peajes cerrados de la autopista y los TVI a partir de espiras electromagnéticas situadas en la vía.

Quedando los tramos definidos como se observa en la Figura 19. Por ello, para asimilar la disposición de los sensores de toma de datos de la AP-7 a los observadores de la San Pablo Dam, se realiza una alineación espacial.

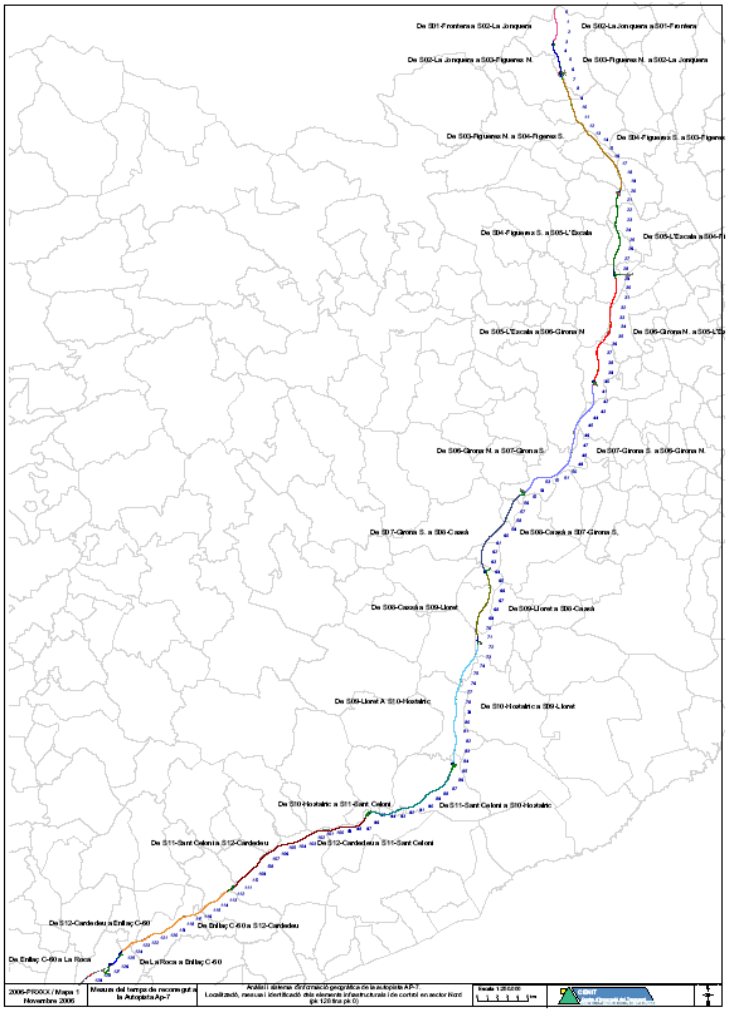

Figura 19: Tramos de la AP-7. Fuente: CENIT

Tras analizar diversas opciones se determina, que la mejor forma de aprovechar los datos de la carretera San Pablo Dam es tratarlos como si se tratasen de dos tramos de TVR o peajes que contienen respectivamente 3 y 2 tramos de TVI, además de un sexto tramo que comparten ambos peajes. Coincidiendo esta disposición con la presente entre los PK 125,6 y PK 95,4 de la AP-7 en dirección Barcelona-Francia y entre los PK 84,5 y PK 111,6 en dirección contraria. Dicho proceso se puede apreciar de forma clara en la Figura 20.

AP-7 Peaje	AP-7 Espira	PK	Francia Barcelona	Barcelona Francia	San Pablo Dam Road	
15		6,3				
14		6,8				
	x	11,3	1	1		
13		20,5				
12		28,9				
11		40,2				
10		55,0				
9		64,2				
8		71,5				
7		84,5				Observador 1
	x	87,1				Observador 2
	x	91,3	3	3		Observador 3
	x	94,8				Observador 4
6		95,4			Observador 8	Observador 5
	x	101,9	2	2	Observador 7	Observador 6
	x	106,4			Observador 6	Observador 7
5		111,6			Observador 5	Observador 8
	x	113,9			Observador 4	
	x	119,2	3	3	Observador 3	
	x	125,4			Observador 2	
2-4		125,6			Observador 1	
	x	128,3	1	1		
3		128,7				
	x	133,7				
	x	142,1				
	x	143,5				
	x	146,7				
	x	150,6				
	x	170,5				

Figura 20: Alineación espacial de AP-7 y San Pablo Dam

Así los datos recolectados por los observadores serán interpretados como si se tratasen de datos de peaje o de espiras según su ubicación, siendo utilizados algunos de los observadores para ambos fines. Se definen entonces los tramos Peaje 1 y Peaje 2 como los tramos de TVR, y los Espira 1 a Espira 6 como tramos de TVI, ubicándose en los observadores 1 y 8 el principio y el final de este conjunto de tramos. Cabe destacar que el observador 5 no será utilizado para aportar datos de TVI, ya que la Espira 4 abarcará desde el observador 4 al 6, estando incluida en ambos tramos de peaje existentes. Todo esto se puede apreciar de forma clara en la Figura 21.

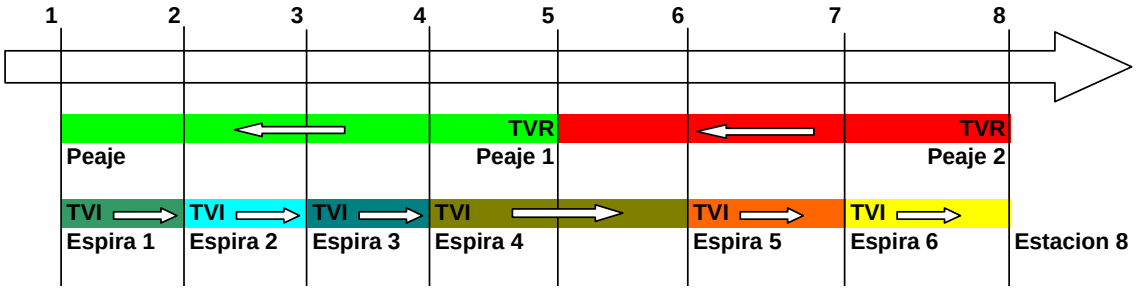

Figura 21: Detalle función de los Observadores en modelo AP-7

En lo referente a la alineación temporal, los datos disponibles de la carretera San Pablo Dam son individuales de cada vehiculo siendo convertibles de forma simple a la frecuencia que interese para el estudio a realizar. En el caso aquí analizado, los TVI se presentan de forma regular cada 3 minutos y los TVR cada 15 minutos. Siendo entonces

estos periodos temporales los de agrupación de datos según la función que se haya definido para el observador.

Finalmente se decide utilizar la campaña de Datos 1, como la fuente de datos para la calibración, utilizando así Datos 2 como la campaña de validación.

Dicha validación se realizara comparando los tiempos de viaje calculados con el TV_{real} y obteniendo de dicha comparación el error cuadrático medio (EQMR) ya analizado en el capitulo anterior.

5.2 Tiempos de viaje iniciales

Una vez definidas las condiciones iniciales se debe detallar como se han obtenido los diferentes tiempos de viaje iniciales (TVI, TVR y TV_{real}) y como se ha realizado la validación de los mismos.

Cabe destacar que en este punto se ha tratado de operar con la mayor simplicidad posible, buscando siempre la representatividad de los resultados y no una gran depuración de los mismos, ya que el objeto del estudio es el análisis de la fusión y no la obtención de tiempos de viaje iniciales.

5.2.1 TVreal

Se define como TV_{real} la media de los tiempos de viaje registrados a lo largo de los periodos de actualización de datos de cada uno de los TVI y TVR. Obteniendo así los valores para la validación de todos los tiempos de viaje que se calcularan a continuación. Aceptando que los errores en dichas medidas son prácticamente nulos.

Se obtienen así TV_{real} correspondientes a 2 tramos de Peaje y a 6 de Espiras (Loop), de los cuales el 4 es analizado como 4 y 4' para diferenciar los tramos pertenecientes a diferentes peajes. Contando con 9 actualizaciones de datos de TVR y 45 de TVI.

Para ver las tablas de datos resultantes consultar el Anexo 2.

5.2.2 TVR

Para la obtención de los TVR se hipotiza que dicho tiempo de viaje tiene un error medio relativo del 5% respecto al tiempo de viaje que se ha medido en ese periodo. Así se define:

$$TVR = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(TV_i \cdot (1-\alpha)\right) \cdot \left(2\beta \cdot \alpha \cdot TV_i\right)}{n} \qquad [55]$$

Donde:

- TV_i: Tiempo de viaje de cada vehiculo circulando en el periodo de análisis
- α: Error medio relativo. En este caso 5%
- β: Numero aleatorio $\in [0,1]$
- n: numero de vehiculo que circulan en el periodo de análisis

Se decide utilizar un numero aleatorio β porque como se dispone de un numero de datos limitado se generaran diversos grupos de tiempos de viaje para así disponer de una mayor variedad que otorgue más robustez al sistema.

Se dispone así de dos tramos con TVR que a su vez cuentan con 11 periodos de medidas, pudiendo generar pequeñas variaciones en ellos de forma ilimitada.

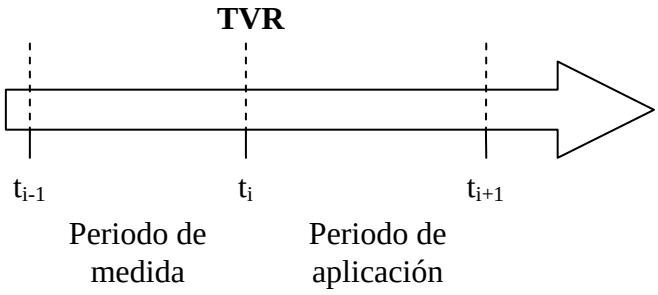

Figura 22: Definición del periodo de medida y del periodo de aplicación.

Se puede observar que los datos resultantes poseen tras este tratamiento un error medio respecto al tiempo de viaje en el periodo de medida del 5%, como impuesto inicialmente. Pero cabe destacar que el error respecto al tiempo de viaje durante el periodo en el que el TVR será utilizado como referente es de hasta el 40%. Como se puede apreciar en la siguiente tabla:

TVR	EQMA	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion
Peaje 1	3,9897	0,4017	0,5328	0,3931
Peaje 2	1,9697	0,3645	0,5863	0,3365
Total	3,095	0,393	0,553	0,384

Tabla 16: Error de TVR en su periodo de aplicación

Para ver las tablas de datos resultantes consultar el Anexo 2.

5.2.3 TVI

Para la obtención de TVI se han utilizado dos algoritmos diferentes, ya que se necesitan dos TVI para la aplicación de la Fusión 1. Así el TVI_1 será calculado con un algoritmo sencillo de velocidad puntual, y el TVI2 con el algoritmo propuesto por Nam (1996) de balance de flujo acumulado.

Al igual que en el caso anterior se ha decidido incluir un error en la determinación de los tiempos de viaje para representar mejor la realidad. Como la fuente de datos es una espira se le aplica un error del 10% asociado a la determinación de la velocidad puntual (Ver capítulo 2) y otro 10% asociado a la variación de la velocidad a lo largo del tramo.

$$\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 = 21\% \qquad [56]$$

Donde:

- α_1: Error medio relativo en la determinación de la velocidad puntual. Igual al 10%
- α_2: Error medio relativo por la variación de la velocidad a la largo del tramo de estudio. Igual al 10%

Para la determinación de ambos algoritmos se requiere la velocidad media en el tramo. Dicha velocidad se calcula a la vez que el TVI_1. Realizándose la hipótesis de que si el

TV_{real} es superior a dos veces el tiempo de viaje mínimo, resulta que las velocidades se distribuyen de forma uniforme entre 5 km/h y dos veces la velocidad máxima en el tramo. En cambio si TV_{real} es inferior a dos veces el tiempo de viaje mínimo, los tiempos de viaje se distribuirán como una distribución log normal con media y desviación estándar iguales a las de TV_{real}. Respetando siempre que las velocidades individuales de cada vehiculo detectables por la espira van desde los 5 km/h (velocidad mínima detectable por la espira) hasta los 120 km/h (corresponde al 150% de la velocidad legal permitida).Así:

Si $TV_{real} \rangle 2 \cdot TV_{real_{\min}}$:

$$v_i = \min(120; \max(5; \{[(1-\alpha)+(2\beta \cdot \alpha)] \cdot [\gamma \cdot (2v_{\max} - 5) + 5]\})) \qquad [57]$$

$$TVI_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta x}{v_i} \qquad [58]$$

Si $TV_{real} \leq 2 \cdot TV_{real_{\min}}$:

$$TVI_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} [(1-\alpha)+(2\beta \cdot \alpha)] \cdot \ln\left(F^{-1}(\gamma)\right) \qquad [59]$$

$$v_i = \frac{\Delta x}{[(1-\alpha)+(2\beta \cdot \alpha)] \cdot \ln\left(F^{-1}(\gamma)\right)} \qquad [60]$$

Donde:

- $v_{\max}$: Velocidad máxima registrada en el tramo
- α : Error medio relativo. En este caso 21%
- β , γ: Numero aleatorio $\in [0,1]$
- F^{-1}: Inverso de la distribución log normal. Con $\mu_F = \mu_{TVreal}$ y $\sigma_F = \sigma_{TVreal}$
- n: numero de vehiculo que circulan en el periodo de análisis

Una vez determinado TVI_1 y la velocidad se calcula TVI2 con el algoritmo de Nam (1996).

$$TVI_{2_{i,t}} = TVI_{2_{i,t-1}} + \beta \cdot (TVI'_{1_{i,t}} - TVI_{1_{i,t-1}}) \qquad [61]$$

$$TVI'_{i,t} = \frac{l_i \cdot (q_{e_{i,t}} \cdot K_{i,t-1} + q_{s_{i,t}} \cdot K_{i,t})}{2 \cdot q_{e_{i,t}} \cdot q_{s_{i,t}}} \qquad [62]$$

$$K_{i,t} = q_{e_{i,t}} / v_m \qquad [63]$$

Donde:

- $TVI'_{2_{1,t}}$: TVI_2 del tramo i en el intervalo t bajo condiciones de tráfico no congestionadas.
- $K_{i,t}$: Densidad del tramo i en el intervalo t

- q_e: Volumen de vehículos que entran en el periodo t
- q_s: Volumen de vehículos que salen en el periodo t
- v_m: Velocidad media en el tramo y periodo determinados. $v_m = \sum v_i / n$
- β: Factor de alisado temporal. En este caso β=0,9.

Se puede observar que TVI1 y TVI2 al igual que TVR poseen un numero aleatorio en sus formulas que permite generar infinitos tiempos con características similares.

Se puede apreciar que los datos resultantes poseen tras este tratamiento un error medio respecto al tiempo de viaje en el periodo de medida de entorno al 17-25%, valores muy similares al impuesto inicialmente. Esto se puede observar en la siguiente tabla elaborada a partir de la generación de 25 conjuntos de TVI

	Datos 1											
	TVI1						TVI2					
	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion
Media	0,560	0,218	0,037	0,689	0,026	0,233	0,633	0,244	0,188	0,757	0,131	0,253
Desviacion	0,039	0,015	0,005	0,048	0,004	0,016	0,022	0,008	0,079	0,018	0,055	0,006
Máx	0,638	0,249	0,049	0,785	0,035	0,265	0,725	0,279	0,461	0,823	0,321	0,275
Min	0,467	0,182	0,029	0,574	0,020	0,194	0,613	0,236	0,138	0,729	0,096	0,244
	Datos 2											
	TVI1						TVI2					
	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion
Media	0,363	0,166	0,037	0,510	0,023	0,197	0,521	0,235	0,208	0,696	0,127	0,266
Desviacion	0,037	0,017	0,004	0,052	0,002	0,020	0,008	0,004	0,008	0,011	0,005	0,004
Máx	0,432	0,197	0,045	0,607	0,028	0,234	0,541	0,244	0,235	0,726	0,143	0,278
Min	0,323	0,148	0,031	0,453	0,019	0,175	0,501	0,226	0,198	0,670	0,121	0,256

Tabla 17: Error de los TVI en su periodo de toma de datos.

Cabe destacar que los TVI tienen un error respecto a su periodo de aplicación algo superior al del periodo de medida, pero sin alcanzar el incremento del TVR, siendo su error en este caso inferior al del TVR. Esto se puede observar en la siguiente tabla elaborada a partir de la generación de 100 conjuntos de TVI.

	Datos 1											
	TVI1						TVI2					
	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion
Media	0,927	0,369	0,641	1,003	0,327	0,376	0,951	0,374	0,569	1,042	0,285	0,388
Desviacion	0,041	0,016	0,084	0,049	0,042	0,018	0,011	0,004	0,043	0,014	0,018	0,006
Máx	1,047	0,417	0,854	1,135	0,453	0,423	0,983	0,386	0,667	1,083	0,339	0,403
Min	0,855	0,340	0,403	0,912	0,208	0,343	0,928	0,365	0,482	1,010	0,248	0,376
	Datos 2											
	TVI1						TVI2					
	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion	EQMA	EQMR	EQMA libre	EQMA congestion	EQMR libre	EQMR congestion
Media	0,927	0,369	0,641	1,003	0,327	0,376	0,951	0,374	0,569	1,042	0,285	0,388
Desviacion	0,041	0,016	0,084	0,049	0,042	0,018	0,011	0,004	0,043	0,014	0,018	0,006
Máx	1,047	0,417	0,854	1,135	0,453	0,423	0,983	0,386	0,667	1,083	0,339	0,403
Min	0,855	0,340	0,403	0,912	0,208	0,343	0,928	0,365	0,482	1,010	0,248	0,376

Tabla 18: Error de los TVI en su periodo de aplicación.

Para ver las tablas de datos resultantes consultar el Anexo 2.

5.3 Fusión 1

Una vez calculados los TV_{real}, TVI1, TVI2 y TVR ya se puede proceder a la ejecución del sistema de fusión de datos. Así se ejecuta la fusión 1 según lo detallado en el capitulo 3 de este documento.

5.3.1 Calibración de ε

Para ello se definen las probabilidades individuales de estado del tráfico a partir del Highway Capacity Manual (TRB 2000) y tras realizar pequeños ajustes para su correcto funcionamiento se determina:

Velocidad		Libre		Stop&Go	
v1	40	Min. Prob.	0	Max. Prob	1
v2	60	Max. Prob	1	Min. Prob.	0
Flujo		**Libre**		**Stop&Go**	
q1	800	Media prob	0,35	Media prob	0,65
q2	1300	Min. Prob.	0	Max. Prob	1
Densidad		**Libre**		**Stop&Go**	
k1	20	Max. Prob	1	Min. Prob.	0
k3	27	Min. Prob.	0	Max. Prob	1

Tabla 19: Parámetros para la determinación del estado del tráfico

Cabe destacar que en este caso se utiliza la densidad k (m/100m), ya que no hay forma de obtener la ocupación y en cambio la densidad se obtiene a partir de la velocidad y el flujo (k=q/v).

En el proceso de determinación de estado del trafico se certifica que generando 50 grupos de datos el sistema es muy consistente, con un 99% de media, a pesar de tener intervalos de transición con consistencias de apenas el 52%. Dicha consistencia corresponde a la parte porcentual en que se repite un estado por intervalo y tramo en los diferentes grupos de datos, siendo la consistencia mínima del 50%.

Consistencia del estado		
	min	media
Loop 1	54	96,27
Loop 2	62	99,02
Loop 3	82	99,24
Loop 4	94	99,87
Loop 5	100	100,00
Loop 6	52	98,09
Total	**52**	**98,75**

Tabla 20: Consistencia del estado del tráfico para Datos 1

En lo referente a su precisión, validada comparando los tiempos de viaje de los estados Libre con los Stop & Go, se puede afirmar que es relativamente preciso. Ya que si se seleccionan aquellos intervalos con una consistencia igual o superior al 60%, el numero de ocasiones en que el TV_{max} en estado libre supera al TV_{min} en estado de congestión varia entre el 0% y el 63% (Datos 1), coincidiendo ambos casos con situaciones en que el numero de TV en uno de ambos estados es muy pequeño.

	Casos Libre	Casos Stop&Go	Transicion o sin datos	Porcentaje TVmaxL>TVminS
Loop 1	28	13	4	35%
Loop 2	17	27	1	33%
Loop 3	13	31	1	15%
Loop 4	2	28	15	0%
Loop 5	0	31	14	0%
Loop 6	2	41	2	63%

Tabla 20: Precisión de la determinación de estado del tráfico para Datos 1.

Una vez determinados los estados del trafico se procede a determinar los diferentes valores del parámetro de error ε. Para ello se generan 100 grupos de datos a partir de Datos 1, ya que es dicha campaña la de calibración. El resultado es:

ε	**Libre**	**Stop & Go**
TVI_1	$\varepsilon_{1,L}$ =0,327	$\varepsilon_{1,S}$ =0,376
TVI_2	$\varepsilon_{2,L}$ =0,285	$\varepsilon_{2,S}$ =0,388

Tabla 21: Calibrado del parámetro ε

Como se puede apreciar los dos algoritmos se comportan de forma similar siendo mas precisos en condiciones de flujo libre y obteniendo errores similares en todas las situaciones. Dicha similitud se ve acentuada al tener en cuenta que la desviación estándar de los parámetros tiene un orden de magnitud de 10^{-2}. Además un análisis de las graficas TV_{real}-TVI aclara que dichos errores son tanto sobre- como subestimadotes.

Se puede afirmar entonces que la situación resultante no es la ideal, ya que el sistema funciona de forma optima cuando cada uno de los TVI_1 y TVI_2 tiene características opuestas al otro, siendo uno un mejor predictor en situación de flujo Libre y el otro en Stop & Go, y siendo uno un algoritmo sobreestimador y el otro subestimador, compensándose así mutuamente.

Además a la hora de aplicar el algoritmo calibrado a la campaña Datos 2, se observa que sus parámetros de error son muy diferentes de los obtenidos con Datos 1. Esto se debe a que cada una de las campañas es de un único día y de un periodo de dos horas y cuarto, lo que produce que la extrapolación realizada carezca de gran precisión.

ε	**Libre**	**Stop & Go**
TVI_1	$\varepsilon_{1,L}$ =0,283	$\varepsilon_{1,S}$ =0,344
TVI_2	$\varepsilon_{2,L}$ =0,310	$\varepsilon_{2,S}$ =0,421

Tabla 22: Comprobación valores del parámetro ε con Datos 2.

A pesar de ello se vera más adelante que los resultados son buenos.

5.3.2 Obtención de TVI

Tras la calibración de los parámetros ε, se procede a la obtención de TVI, necesario para calibrar y ejecutar posteriormente la fusión 2.

	TVI1			TVI2			TVI		
	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion
Media	0,369	0,330	0,375	0,373	0,285	0,388	0,339	0,258	0,352
Desviacion	0,016	0,044	0,016	0,004	0,019	0,006	0,005	0,019	0,006
Máx	0,409	0,447	0,422	0,384	0,345	0,399	0,353	0,319	0,364
Min	0,339	0,225	0,334	0,360	0,249	0,371	0,327	0,221	0,337

Tabla 23: Evolución del error en la calibración de Fusión 1

Con los datos de calibración se observa, que tras ejecutar el algoritmo de fusión, los errores relativos decrecen, obteniendo una mejora de hasta el 8,4% global en estado libre y del 5,4% en congestión.

Dicha mejora se calcula como:

$$Mejora_{estado} = \varepsilon_{TVI_{estado}} - \varepsilon_{TVI_{i_{estado}}} \Big/ \varepsilon_{TVI_{estado}} \qquad [64]$$

$$Mejora_{global} = \varepsilon_{TVI_{estado}} - \min\left(\varepsilon_{TVI_{i_{estado}}}; \varepsilon_{TVI_{j_{estado}}}\right) \Big/ \min\left(\varepsilon_{TVI_{i_{estado}}}; \varepsilon_{TVI_{j_{estado}}}\right) \qquad [65]$$

Mejora					
Libre		Congestion		Global	
TVI1	TVI2	TVI1	TVI2	Libre	Congestion
20,7%	9,5%	6,0%	9,2%	8,4%	5,4%

Tabla 24: Mejora del error en la calibración de Fusión 1

Posteriormente se aplica el algoritmo Fusión 1, con los parámetros calibrados a partir de Datos 1, a Datos 2 y dado que los parámetros ε no corresponden a la realidad se consigue solo mejorar uno de los tiempos de viaje empeorando el otro.

	TVI1				TVI2				TVI			
	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion	% Falso	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion	% Falso	EQMR	EQMR libre	EQMR congestion	% Falso
Media	0,328	0,283	0,344	0,104	0,392	0,310	0,421	0,115	0,359	0,296	0,381	0,093
Desviacion	0,010	0,018	0,013	0,000	0,005	0,006	0,006	0,000	0,005	0,006	0,007	0,000
Máx	0,362	0,357	0,394	0,104	0,407	0,324	0,440	0,115	0,372	0,313	0,397	0,093
Min	0,307	0,248	0,320	0,104	0,380	0,293	0,404	0,115	0,349	0,280	0,365	0,093

Tabla 25: Evolución del error en la ejecución de Fusión 1

Obteniendo por ello una mejora global negativa. Pero aumentando la cobertura temporal de los TVI, pasando de una cobertura de TVI_1 y TVI_2 del 89,6% y 88,5% respectivamente a una del 90,7%, lo que supone una mejora del 1,2% y 2,4%.

Mejora EQMR					
Libre		Congestion		Global	
TVI1	TVI2	TVI1	TVI2	Libre	Congestion
-4,9%	4,7%	-10,8%	9,5%	-5,2%	-10,8%

Tabla 26: Mejora del error en la ejecución de Fusión 1

Se puede concluir entonces que el resultado de la Fusión 1 es positivo, a pesar de los problemas que aparecen debidos a la falta de datos suficientes para la calibración y de la

simplicidad del algoritmo. Se consigue así mejorar siempre el peor de los TVI y proporcionar una mayor cobertura temporal a pesar de proceder los datos del mismo sensor.

Para ver tablas de TVI ver Anexo 2.

5.4 Fusión 2

Tras determinar TVI se puede proceder a su fusión con TVR, mediante los algoritmos ya descritos de Fusión 2. Para ello primero se debe proceder a la calibración con Datos 1 para así finalmente ejecutar el sistema con Datos 2.

5.4.1 Calibrado

Se realiza entonces la alineación temporal y espacial de los TVI y TVR de Datos 1 obteniendo TVP_1 y TVP_2, de los cuales son generados 100 grupos para así tener un conjunto de datos más consistente.

Tras lo detallado en el capitulo 3 se define entonces:

$$TVP_{1_{Peaje1,t}} = TVI_{Loop1,t} + TVI_{Loop2,t} + TVI_{Loop3,t} + \lambda \cdot TVI_{Loop4,t} \qquad [66]$$

$$TVP_{1_{Peaje2,t}} = (1-\lambda) \cdot TVI_{Loop4,t} + TVI_{Loop5,t} + TVI_{Loop6,t} \qquad [67]$$

$$TVP_{2,t} = TVP_{2,t+3\min} = TVP_{2,t+6\min} = TVP_{2,t+9\min} = TVP_{2,t+12\min} = TVR_t \qquad [68]$$

Donde:

$$\lambda = {x_{Observador5} - x_{Observador4}} \Big/ {x_{Observador6} - x_{Observador4}} = 0{,}29 \qquad [69]$$

Se dispone entonces de datos cada 3 minutos (Espacio temporal de TVI) en los dos tramos de TVR, Peaje 1 y Peaje 2.

Tras analizar los valores de TVP_1 y TVP2 se definen 15 subespacios temporales de 1 minuto cada uno, para la calibración del algoritmo de fusión.

A continuación se procede a obtener, mediante análisis estadístico de los datos, 4 tablas de probabilidades condicionadas. Dos de las tablas corresponden a TVP_1 y las otras dos a TVP_2, correspondiendo cada una de ellas a los dos tramos existentes.

Aplicando la teoría de Bayes y la regla de decisión de la máxima probabilidad a posteriori modificada se obtiene entonces la tabla de TVP en función de TVP_1 y TVP_2 así como las incertidumbres asociadas a cada decisión.

Peaje 1		TVP2														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TVP1	1	2	2	2	No	2	No	2	2	No	2	2	2	No	2	2
	2	2	2	2	No	2	No	2	2	No	2	2	2	No	2	2
	3	2	2	2	No	2	No	2	2	No	2	2	2	No	2	2
	4	No	No	No	4	No	No	4	No	No	No	No	No	5	No	No
	5	No	No	No	5	No	No	4	No	No	No	No	No	6	No	No
	6	No	No	No	9	No	No	No	No	No	No	No	No	7	No	No
	7	No	No	No	No	No	10	No	No	No	No	No	No	7	No	No
	8	15	15	15	No	15	11	No	15	No	15	15	15	No	15	15
	9	15	15	15	No	15	No	15	15	13	15	15	15	13	15	15
	10	2	2	2	No	2	14	No	2	13	2	2	2	14	2	2
	11	2	2	2	No	2	14	No	2	13	2	2	2	14	2	2
	12	15	15	15	No	15	14	No	15	12	15	15	15	13	15	15
	13	2	2	2	No	2	No	No	2	12	2	2	2	13	2	2
	14	15	15	15	No	15	No	15	15	12	15	15	15	No	15	15
	15	15	15	15	No	15	No	2	15	No	15	15	15	No	15	15

Peaje 2		TVP2														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TVP1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	2	No	4	No	No	No	No	No	4	No	No	No	No	No	No	No
	3	No	4	6	6	No	12	No	4	No	No	No	No	No	No	No
	4	No	No	9	10	No	12	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	5	No	4	7	14	No	13	No	4	No	No	No	No	No	No	No
	6	No	5	6	6	No	13	No	No	No	No	No	No	No	No	No
	7	2	2	6	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	11	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	13	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabla 27: Resultado calibración de Fusión 2.

Incertidumbre																
Peaje 1		TVP2														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TVP1	1	0,80	0,80	0,80	0,98	0,80	0,98	0,88	0,80	0,96	0,80	0,80	0,80	0,98	0,80	0,80
	2	0,80	0,80	0,80	0,98	0,80	0,98	0,88	0,80	0,96	0,80	0,80	0,80	0,98	0,80	0,80
	3	0,80	0,80	0,80	0,98	0,80	0,98	0,88	0,80	0,96	0,80	0,80	0,80	0,98	0,80	0,80
	4	0,96	0,96	0,96	0,84	0,96	1,00	0,81	0,96	0,99	0,96	0,96	0,96	0,93	0,96	0,96
	5	0,95	0,95	0,95	0,86	0,95	1,00	0,92	0,95	0,99	0,95	0,95	0,95	0,89	0,95	0,95
	6	0,97	0,97	0,97	0,83	0,97	1,00	0,98	0,97	0,99	0,97	0,97	0,97	0,89	0,97	0,97
	7	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,83	0,98	0,97	0,99	0,97	0,97	0,97	0,93	0,97	0,97
	8	0,95	0,95	0,95	1,00	0,95	0,76	0,97	0,95	0,99	0,95	0,95	0,95	0,99	0,95	0,95
	9	0,86	0,86	0,86	0,99	0,86	0,97	0,91	0,86	0,89	0,86	0,86	0,86	0,94	0,86	0,86
	10	0,92	0,92	0,92	0,99	0,92	0,90	0,95	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,92	0,92
	11	0,94	0,94	0,94	0,99	0,94	0,88	0,96	0,94	0,93	0,94	0,94	0,94	0,91	0,94	0,94
	12	0,93	0,93	0,93	0,99	0,93	0,95	0,96	0,93	0,76	0,93	0,93	0,93	0,95	0,93	0,93
	13	0,94	0,94	0,94	0,99	0,94	0,99	0,96	0,94	0,66	0,94	0,94	0,94	0,97	0,94	0,94
	14	0,85	0,85	0,85	0,99	0,85	0,98	0,91	0,85	0,87	0,85	0,85	0,85	0,96	0,85	0,85
	15	0,81	0,81	0,81	0,98	0,81	0,98	0,88	0,81	0,95	0,81	0,81	0,81	0,98	0,81	0,81

Incertidumbre																
Peaje 2		TVP2														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TVP1	1	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	2	0,97	0,79	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,93	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	3	1,00	0,85	0,93	0,88	0,99	0,94	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	4	1,00	1,00	0,95	0,90	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	5	0,97	0,65	0,91	-0,19	0,97	0,18	0,97	0,91	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	6	0,99	0,93	0,93	0,85	0,99	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	7	0,86	0,86	0,37	0,48	0,85	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
	8	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
	9	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	10	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	11	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	12	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	13	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	14	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	15	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tabla 28: Incertidumbre determinada en el calibrado de Fusión 2.

En lo referente a la incertidumbre destaca lo importante que es esta en el análisis realizado, lo que certifica que los algoritmos escogidos para el calculo de tiempo de viaje no tienen un patrón de comportamiento claro, teniendo su relación TV_{real}-$TV_{calculado}$ una gran dispersión. Dichos valores de incertidumbre tiene un valor medio de entre el 85% y el 91%, lo que supone que se las decisiones se toman teniendo solo en cuenta el 15% de los sucesos.

A pesar de ello una evaluación del error medio de los 100 grupos de TVP_1 y TVP_2 y del TVP resultante de la aplicación de la Tabla 27 sobre Datos 1, concluye que la precisión del TVP mejora la de ambos TVP_1 y TVP_2 en el tramo Peaje 1 y mejora únicamente TVP_2 en Peaje 2.

	EQMA Peaje 1	EQMR Peaje 1	EQMA Peaje 2	EQMR Peaje 2	EQMA Total	EQMR Total
TVP1	1,85	0,19	1,07	0,11		
TVP2	4,52	0,47	2,24	0,41		
TVP	1,07	0,11	2,02	0,21	1,62	0,17

Tabla 29: Evolución del error en TVP.

5.4.2 Validación

Tras la calibración del algoritmo de fusión se procede a su validación haciendo uso de la campaña Datos 2.

En este caso se parte de la Tabla 27 para la obtención de TVP. De ello resulta un tiempo de viaje de una precisión inferior a los anteriores pero de forma moderada. Resultado que puede ser considerado como positivo si se tiene en cuenta que se parte de una incertidumbre, ya sobre datos de calibración, del 85%.

	EQMA Peaje 1	EQMR Peaje 1	EQMA Peaje 2	EQMR Peaje 2	EQMA Total	EQMR Total
TVP1	1,78	0,23	2,22	0,35		
TVP2	3,24	0,41	2,43	0,38		
TVP	4,16	0,37	3,88	0,40	4,00	0,39

Tabla 30: Evolución del error TVP en la validación.

Además la observación de la distribución de los tiempos de viaje calculados en Datos 2 es muy diferente a la de Datos 1.Lo que conlleva que la correlación de las probabilidades de calibración con las de validación sea reducida.

Finalmente la gran incertidumbre y la inclusión de una condición por la cual soluciones con menos de un 1% de probabilidad no son aceptadas provoca un decremento de la cobertura temporal.