

INDICADORES DE CONSISTENCIA EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

Tomás Echaveguren Navarro

Jessica Saez Cárdenas

Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Civil

Casilla 160 – C, Correo 3, Concepción,

Fono: (56)(41)20.43.20, Fax: (56)(41)25.25.24, email: techaveg@udec.cl

RESUMEN

La evidencia empírica acerca de las diferencias entre el comportamiento real y modelado del conductor, a orientado la investigación en diseño geométrico a elaborar instrumentos que permitan medir la bondad de los diseños en términos de su consistencia.

La consistencia se define como la condición bajo la cual una vía se encuentra en armonía con las expectativas de los conductores. Hasta inicios de la década del 80, los instrumentos disponibles para el análisis de consistencia se basaban en Índices de Alineamiento, los que no permitían dada su concepción, un análisis desde el punto de vista del conductor.

Esto dio origen a una nueva tendencia, denominada enfoque de las expectativas, que bajo el objetivo de reforzar las expectativas que tienen los conductor respecto de un trazado, han permitido un avance en la construcción de indicadores cuantitativos que permitan medir la consistencia de un diseño. Son representativos de esta tendencia los trabajos de Mclean en Australia y Messer en Estados Unidos.

En el presente artículo, se presenta el estado del arte del Análisis de Consistencia. Se comienza analizando el concepto de consistencia para luego analizar en forma general las diferentes tendencias en el análisis. Posteriormente el trabajo se aboca a analizar diversos criterios cuantitativos de calificación de trazados.

Se concluye finalmente que el análisis de consistencia constituye un complemento al proceso de diseño que proporciona un cuerpo teórico para identificar, medir y proporcionar soluciones a los posibles problemas de consistencia de los trazados.

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de diseño provienen en su mayoría de la integración de la cinemática y dinámica de partículas con la geometría. Emplean la velocidad como una variable que permite determinar el valor de las variables geométricas de interés para el diseño.

En el caso de las curvas horizontales, los modelos permiten modelar una cierta condición de “falla”, a partir de la cual se seleccionan curvatura, peraltes y factores de fricción (Hauer, 2000). La modelación adopta como hipótesis que la probabilidad que el conductor exceda la velocidad para la cual se estimaron los parámetros es suficientemente pequeña, motivo por el cual la velocidad empleada en el diseño es la máxima velocidad segura que puede mantenerse en una determinada sección de una vía.

Bajo esta idea se construye el concepto de *velocidad de diseño* (Fitzpatrick *et al.*, 2000). Esta, se define como *la máxima velocidad segura que puede mantenerse en una sección de carretera cuando las condiciones son tan favorables que sólo la condicionan las características de diseño*. Teóricamente esta velocidad nunca es sobrepasada. Tampoco está condicionada por las condiciones de tránsito ni por el entorno de conducción (AASHTO, 1994).

La evidencia empírica muestra que una proporción importante de los conductores eligen una velocidad que excede la velocidad de diseño sobre un umbral de velocidad de circulación que varía entre 70 y 90 Km./h (McLean, 1981; Krammes *et al.*, 1994; Fitzpatrick *et al.*, 2000). Bajo esos umbrales, las investigaciones realizadas por los autores citados muestran que también existen diferencias entre la velocidad de circulación y la de diseño, pero esta última es superior a la de circulación.

Estudios realizados por Bavkov (1968) McLean (1981) y Lamm *et al.* (1995, 1998), mostraron que existía una correlación positiva entre la probabilidad de ocurrencia de accidentes y la diferencia de velocidad de circulación entre curvas sucesivas y en elementos aislados del trazado. Lamm denominó a estas diferencias “inconsistencias”.

La investigación se abocó entonces a determinar las causas de la diferencia entre lo que proporcionaba el diseño como tal (reducido a la velocidad de diseño) y la conducta del conjunto conductor/vehículo (observada a través de la variable velocidad de circulación), y su relación con la ocurrencia de accidentes.

El objetivo perseguido por esta corriente de investigación, se centró desde sus orígenes en determinar mecanismos cuantitativos que permitieran en el proceso de diseño, identificar y corregir inconsistencias. El proceso se denominó “Análisis de Consistencia del Diseño”. El concepto fundamental en este análisis es el de *Consistencia*. Se define en términos genéricos como “la condición bajo la cual una vía se encuentra en armonía con las expectativas de los conductores” (Irizarry y Krammes, 1998). En la medida que reduzcan las inconsistencias, se avanzara hacia la armonización del diseño y lo que el conductor espera de él, reduciendo por consiguiente la probabilidad de ocurrencia de accidentes (Lamm *et al.*, 1995).

2. ENFOQUES DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

En torno a la búsqueda de criterios cuantitativos que permitan analizar la consistencia en el diseño geométrico, se han estructurado dos tendencias. Ambas parten de un principio común, que es lograr una relación armónica entre el conjunto conductor/vehículo, la vía y el entorno inmediato a ella.

La primera tendencia, definida aquí como “Enfoque de la Velocidad”, asume como hipótesis que el conductor y el vehículo constituyen una unidad y que por lo tanto no existen distorsiones en el proceso de percepción - decisión - acción que se lleva a cabo en forma continua durante el proceso de conducción. El considerar dicho conjunto como una unidad, evita el problema que se suscita al considerar los 30 grados de libertad del movimiento de un vehículo (Lamm *et al*, 1999). Esta simplificación permite aplicar modelos físicos, como el Modelo de Masa Puntual (Echaveguren *et al*, 2001), que permite realizar el diseño de curvas circulares.

La segunda tendencia, el “Enfoque de las Expectativas”, presupone que es probable que existan distorsiones en el proceso percepción - decisión - acción, de modo tal que la maniobra observada del vehículo no corresponde exactamente a la maniobra “correcta”, dadas las condiciones de trazado y tránsito. El objetivo fundamental de este enfoque, es reforzar las expectativas del conductor de modo de minimizar la posibilidad de error en el proceso de conducción. O bien, mejorar la consistencia del diseño. Se sustenta en las hipótesis planteadas por dos investigadores: McLean (1981) en Australia y Messer (1980) en Estados Unidos.

Por un lado McLean (1981) plantea que la velocidad de circulación es la variable observable que describe adecuadamente el comportamiento del conductor. Por lo tanto la falta de consistencia de un trazado puede describirse a partir de la diferencia entre la velocidad de circulación y la de diseño. McLean afirma además que:

- El uso de la velocidad de diseño para definir trazados no asegura estándares consistentes.
- El uso de la velocidad de diseño no necesariamente asegura compatibilidad entre elementos de diseño
- Velocidad de Circulación y Velocidad de Diseño no son necesariamente sinónimas.

Por otro lado, Messer (1980) plantea que la vía proporciona más información de la que conductor utiliza en el proceso de conducción, producto de lo cual el diseño en general le impone al conductor un nivel de tensión que afecta su nivel de atención y por tanto su capacidad de respuesta se ve mermada. Este hecho es de mayor importancia en el segmento de conductores denominados “grupos de importancia especial”, que no poseen las características del “conductor de diseño” (Kanellaidis, 1996). En base a esta hipótesis, Messer afirma que un indicador adecuado para describir la consistencia del trazado es la Carga Mental, expresada como una función de las variables de diseño.

La Carga Mental se define como “*una medida del esfuerzo aplicado por un operador humano en la realización de una cierta tarea, independientemente de la calidad de la tarea*” (Fitzpatrick *et*

al, 2000). Según esto, la relación entre Carga Mental y variables geométricas representa el esfuerzo que debe ejecutar el conductor en el proceso de conducción, dadas las características del trazado, tráfico y ambiente en donde realiza dicho proceso. En la figura 1, se esquematizan los diversos enfoques del análisis de consistencia y los principales rasgos que los distinguen.

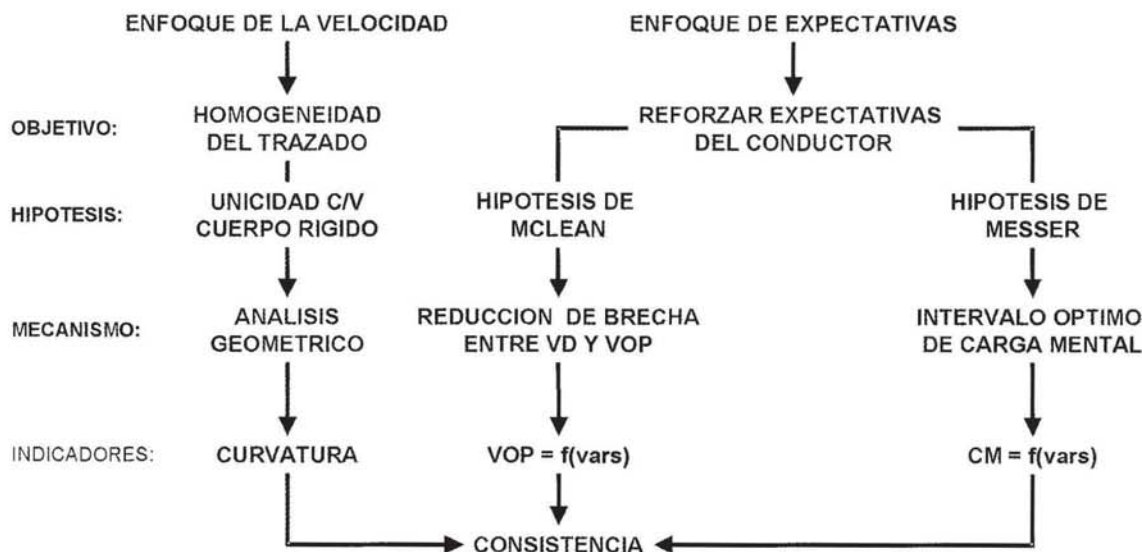


Figura 1: Enfoques de Análisis de Consistencia.

Nomenclaturas: C/V: Conductor vehículo; VOP: Velocidad de operación; VD: Velocidad de Diseño; CM: Carga Mental; vars: variables geométricas.

Nota: En el caso de los indicadores de consistencia del enfoque de la velocidad, se señala sólo la curvatura. Más adelante se analizan indicadores adicionales.

3. INDICADORES DE CONSISTENCIA BAJO EL ENFOQUE DE LA VELOCIDAD

Como se expresó anteriormente, las hipótesis que subyacen a este enfoque son básicamente dos: la unicidad conductor vehículo y la suposición de que esa unidad se comporta como cuerpo rígido. Con estas consideraciones, se construyen los modelos basados en las leyes físicas de la dinámica y la cinemática, para definir un comportamiento, el cual dependerá exclusivamente de la geometría. Esta, es dependiente a su vez de una cierta velocidad de diseño. Bajo esta idea, el analizar la consistencia en un elemento aislado del trazado carece de sentido, dado que siempre la geometría se asociará a una cierta velocidad de diseño mediante modelos de tipo lineal o linearizables y por lo tanto la solución que otorgan los modelos es única.

Esto no es válido en el caso de comparar secciones sucesivas del trazado, dado que en función de las restricciones que se le impongan sí pueden existir variaciones geométricas entre elementos sucesivos, que se traduzcan en variaciones en la velocidad. Con el fin de analizar tales variaciones,

se construyen índices que agrupan las propiedades geométricas del trazado, denominados "Índices de Alineamiento". Los Índices de Alineamiento, se definen formalmente como "una medida cuantitativa de las características generales de un segmento de una vía" (Fitzpatrick *et al.* 2000). Ejemplos de estos índices se muestran en Tabla 1.

Nombre	Denominación	Unidades	Índice
Tasa de Cambio de Curvatura	TCC	Grad/Km	$\Sigma(\Delta_i/L_i)$
Grado de Curvatura	GC	Grad/Km	$\Sigma(\rho_j/LE_j)/L$
Razón Longitud de Curva/Longitud Total	RLCLT	M/m	$\Sigma(LE_i)/L$
Radio Promedio	RP	M	$\Sigma R_i/n$

Δ_i : Ángulo de deflexión; L_i : Longitud del segmento i ; ρ_j : Radio o Parámetro de clotoide; LE_j : longitud del elemento j ; R_i : Radio de la curva; n : Número de curvas en el segmento i .

Tabla 1: Ejemplo de Índices de Alineamiento
(Faghri y Harberson, 1999; Lamm *et al.*, 1999; Fitzpatrick *et al.* 2000).

La evaluación de consistencia se realiza comparando las diferencias entre los índices entre segmentos sucesivos de una vía. Luego se comparan tales diferencias con calificaciones literales: "Bueno", "Regular" y "Malo"

El curso de acción a seguir en el caso de que un par de segmentos se ubique dentro de alguno de los intervalos, puede sintetizarse en lo siguiente:

- Calificación "Bueno": Las diferencias son admisibles y no es necesario modificar el diseño.
 Calificación "Regular": Se requieren modificaciones sólo en los casos en que los segmentos con esta calificación se encuentren adyacentes a otro par con la misma calificación.
 Calificación "Malo": Se debe modificar el diseño.

Un tema central en la discusión es la determinación de valores admisibles para las variaciones de estos índices entre segmentos. Un ejemplo de umbrales de evaluación son los formulados por Lamm *et al.* (1998):

- Diseño "Bueno" : $\Delta TCC < 180$ Grad/Km.
 Diseño "Regular" : $180 \text{ Grad/Km.} < \Delta TCC < 360 \text{ Grad/Km.}$ (1)
 Diseño "Malo" : $\Delta TCC \geq 360 \text{ Grad/Km.}$

Una variante de estos criterios fue empleada por Faghri y Harbeson (1999):

- Diseño "Bueno" : $\Delta GC < 5^\circ$
 Diseño "Regular" : $5^\circ < \Delta GC < 10^\circ$ (2)
 Diseño "Malo" : $\Delta GC \geq 10^\circ$

Estos indicadores, al representarse en forma gráfica a lo largo de un trazado, permiten identificar aquellas zonas en donde existan mayores conflictos y realizar las modificaciones necesarias en la etapa de anteproyecto o proyecto definitivo.

Sin embargo, los Índices de Alineamiento prestan mayor utilidad en el análisis de consistencia bajo el enfoque de las expectativas, el que se analiza a continuación.

4. INDICADORES DE CONSISTENCIA BAJO EL ENFOQUE DE LAS EXPECTATIVAS

4.1. Criterios de Evaluación de Consistencia bajo la hipótesis de McLean

La hipótesis básica que determina la filosofía de este enfoque, establece que la inconsistencia en el diseño se debe a la brecha que existe entre la velocidad de diseño y la de operación (o circulación). Constituye un complemento al enfoque de la velocidad, dado que presupone que el conjunto conductor/vehículo (CCV) son una unidad y que por lo tanto, el comportamiento de dicho conjunto puede describirse en base a variables observables y medibles. En este caso, la velocidad. Se puede establecer así, que los cambios que experimente el CCV se deberán a la forma en que percibe el tránsito, la vía y su entorno inmediato durante el proceso de conducción. Esto se esquematiza en la figura 2.

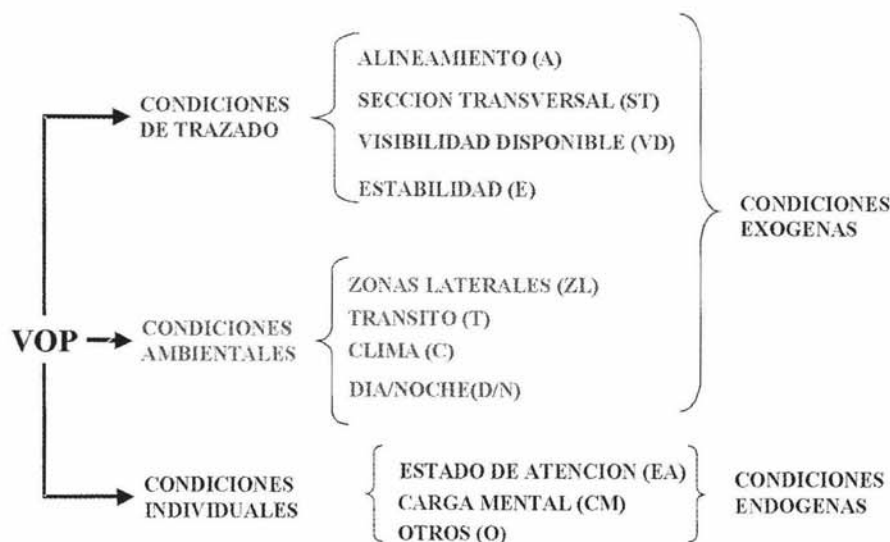


Figura 2: Variables que intervienen en la variación de la velocidad de circulación.

En la figura se muestra que la variación en la velocidad de operación a lo largo de un trazado, puede deberse a tres grandes causas; las condiciones geométricas, ambientales e individuales. Las

primeras dos corresponden a condiciones exógenas al individuo y que no pueden ser controladas en forma directa por él. El grupo de condiciones individuales es endógeno respecto del individuo y por lo tanto pueden ser controladas por él durante el proceso de conducción.

El análisis de consistencia basado en la hipótesis de McLean, se ha abocado al primer grupo de variables: Las condiciones de trazado. En particular, Lamm *et al* (1999), han definido tres criterios de consistencia: (I) Consistencia de elementos simples, (II) Consistencia entre elementos sucesivos y, (III) Estabilidad Dinámica. Esto es equivalente a analizar los cambios en las expectativas del conductor ocasionados por el Alineamiento (A) y la Estabilidad (E). En estos criterios, Lamm asume que la velocidad de percentil 85 (V85), es un buen descriptor de la velocidad de operación, criterio sostenido también por McLean (1981) Kanellaidis (1990), Roess *et al* (1998) y Fitzpatrick *et al* (2000) entre otros autores. Como se muestra en figura 3, los criterios de Lamm se refieren exclusivamente a dos variables explicativas de la variación de la velocidad de operación: Alineamiento Horizontal y Estabilidad Dinámica.



Figura 3: Ambito de Criterios de Evaluación de Consistencia de Lamm

La aplicación de los criterios de Lamm, esta sustentada por un lado en estadísticas de accidentes correlacionadas con variables geométricas, y por otro en las correlaciones existentes entre V85 y variables geométricas. Un análisis de este último punto puede verse en Echaveguren y Saez (2001). Aquí se presentan las generalidades para cada uno de los criterios de consistencia.

4.1.1. Criterio I: Consistencia en Elementos Simples

Este criterio se aboca a lograr la armonía entre la velocidad de diseño y la velocidad de operación en un elemento aislado del trazado. Clasifican el diseño en “Bueno” “Regular” o “Malo” según (Lamm *et al*, 1999):

Diseño “Bueno”	$V85 - VD \leq 10 \text{ Km./h}$	(3)
Diseño “Regular”	$10 \text{ Km./h} < V85 - VD < 20 \text{ Km./h}$	
Diseño “Malo”	$V85 - VD > 20 \text{ Km./h}$	

La velocidad de percentil 85, está asociada a variables geométricas. En su mayoría, las ecuaciones son de tipo lineal o linearizables, de modo tal que constituyen una combinación lineal de variables geométricas tales como curvatura, peralte, ángulo de deflexión etc.. Las formas funcionales que son de mayor uso y que han presentado mejores correlaciones son del tipo:

$$V_{85} = \beta_0 + \beta_1/R \quad ; \quad V_{85} = \beta_0 + \beta_1/R^{1/2} \quad (4)$$

En donde β_i son coeficientes de regresión, y R el radio de curvatura. En el caso de presencia de clotoides, es más conveniente emplear alguno de los Índices de Alineamiento de la tabla 1.

4.1.2. Criterio II: Consistencia entre Elementos Sucesivos

Mediante este criterio se verifican los cambios de velocidad entre elementos sucesivos. Uno de los precursores de este criterio fue Bavkov (1968), quien recomendaba el uso de un coeficiente de seguridad (K) para caracterizar trazados. Lo definió como “el cuociente entre la velocidad del flujo medio vehicular que puede lograrse en una sección y la velocidad que puede lograrse en la sección precedente”. De este modo, especificaba que el grado de seguridad de una curva, estaba directamente asociado a la velocidad que se lograba en el segmento precedente al analizado. Estableció los siguientes criterios prácticos para la identificación de la peligrosidad de segmentos:

Diseño “Bueno”	$K > 0.8$	
Diseño “Regular”	$0.4 < K < 0.6$ y $0.6 < K < 0.8$	(5)
Diseño “Malo”	$K \leq 0.4$	

Para valores de K menores a 0.4, Bavkov establecía la necesidad de realizar un rediseño. Para valores entre 0.4 y 0.6, recomendaba emplear señalización; para valores entre 0.6 y 0.8, mejorar visibilidad y aplicar demarcaciones; y para valores superiores a 0.8, mantener el diseño.

Por su parte, Lamm *et al* (1995), propuso los siguientes umbrales de evaluación:

Diseño “Bueno”	: $\Delta V_{85} < 10 \text{ Km./h}$	
Diseño “Regular”	: $10 \text{ Km./h} < \Delta V_{85} < 20 \text{ Km./h}$	(6)
Diseño “Malo”	: $\Delta V_{85} > 20 \text{ Km./h}$	

Una diferencia fundamental entre el criterio de Bavkov y de Lamm es la forma en que describen la velocidad de operación. Bavkov la define como una velocidad media, y Lamm como la velocidad de percentil 85. Esto repercute en la precisión de los cálculos y en la representatividad del criterio.

La variable ΔV_{85} se puede estimar de dos formas: Una aplicando diferencia simple entre los valores de V_{85} de segmentos sucesivos mediante ecuaciones similares a la indicadas en ecuación (4). Otra alternativa es estimar directamente las correlaciones entre ΔV_{85} y las variables geométricas del trazado.

4.1.3. Criterio III: Estabilidad Dinámica

Este criterio toma como base la idea que las diferencias entre la fricción lateral provista por el diseño y la fricción lateral demandada induce inconsistencia en el trazado, puesto que el conductor modifica su velocidad al enfrentar la curva dependiendo de la trayectoria, de la presencia de otros vehículos y de la velocidad de aproximación a la curva.

Para lograr la estabilidad, el conductor demandará una cierta cantidad de fricción en función de las características del desplazamiento del automóvil (velocidad, trayectoria) y del pavimento (textura), la cual no necesariamente es la misma que ofrece el diseño a través de la curvatura y del peralte.

Los umbrales propuestos por Lamm *et al* (1995) son los indicados en ecuaciones (7). En donde Δf es la diferencia entre la fricción lateral provista y la demandada.

$$\begin{array}{ll} \text{Diseño "Bueno"} & : \Delta f > + 0.02 \\ \text{Diseño "Regular"} & : + 0.02 \Delta f < - 0.02 \\ \text{Diseño "Malo"} & : \Delta f < - 0.02 \end{array} \quad (7)$$

La fricción lateral provista se puede estimar mediante la expresión de equilibrio dinámico:

$$f_{ra} = VD^2/127R - p \quad (8)$$

Siendo VD la velocidad de diseño, R el Radio de curvatura y p el peralte. En el caso de las recomendaciones de diseño de Chile se reduce a $f_{ra} = 2p$.

La fricción lateral demandada, se estima aplicando la ecuación (8), sustituyendo el valor de VD por el de V85. También es posible emplear ecuaciones de regresión lineal del tipo:

$$f_{rd} = \alpha (\beta_0 + \beta_1 V85 + \beta_2 V85^2) \quad \text{ó} \quad f_{rd} = \alpha (\beta_0 + \beta_1 GC + \beta_2 GC^2) \quad (9)$$

en donde α es un factor que varía entre 1 y 0, que permite considerar la interacción entre la fricción lateral y transversal; β_i son coeficientes de regresión. Este procedimiento requiere de la realización de mediciones en terreno de la fricción en función de tales variable mediante equipos estáticos o dinámicos de medición de fricción.

4.2. Criterios de Evaluación de Consistencia según hipótesis de Messer

Este enfoque tiene su raíz en el modelo conductual de Donges (Lamm *et al*, 1999). Se basa en la hipótesis de que existe una relación activa de retroalimentación entre el conductor, el vehículo, la vía y el ambiente que lo rodea.

Las decisiones que el conductor adopta, dependerán de la percepción de la información que le entrega el trazado, nivel de tráfico entorno inmediato y ambiente. Mientras el conductor sea capaz de adaptarse el error en la conducción será menor. Esta capacidad de adaptación depende de una

multiplicidad de factores, los cuales están influenciados por la información que percibe el conductor y por la carga mental a que está sujeto.

En cualquier caso, el conductor tenderá naturalmente a moverse desde una condición de mayor carga mental hacia una de menor (homeostasis), lo cual se verá reflejado: en una variación de la velocidad de circulación, en la modificación de su atención a las fuentes de información y en una reducción de su participación en operaciones no esenciales para la tarea de conducción.

Actualmente, si bien el análisis bajo estos conceptos aún se encuentra en una fase experimental, se han desarrollado procedimientos para utilizarlos en el análisis de consistencia. Estos, se pueden agrupar en (Fitzpatrick *et al*, 2000): métodos basados en escalas subjetivas; evaluación de comportamiento; medidas fisiológicas; y evaluación de la demanda visual. Con el propósito de evaluar la consistencia, estos métodos en general se integran con el método de escalas subjetivas.

Dentro de los métodos basados en escalas subjetivas, uno de los primeras aplicaciones a la consistencia del diseño geométrico fue el formulado por Messer (1980). Se basó en la hipótesis enunciada en sección 2 de este artículo. Permite estimar la carga mental mediante la ecuación 10.

$$CM = U \times E \times S \times R + C \times CMp \quad (10)$$

En donde **CM** es la Carga Mental presente; **CMp** es la carga mental percibida en el segmento anterior; **U** es el factor de no familiaridad del trazado; **E** el factor de expectativa del conductor; **S** el factor de distancia de visibilidad; **R** el factor de carga mental potencial para condiciones normales; y **C**, el factor de reacción.

La ecuación 10, permite determinar un valor numérico positivo, que se asocia a niveles de consistencia. En tabla 2 se muestran los valores calculados por Messer para la evaluación de consistencia.

Tabla 2: Calificación de Consistencia del Diseño (Lamm *et al*, 1999)

Calificación del Diseño	Expectativa del Conductor	Nivel de Consistencia	Valor de Carga Mental
Bueno	No se esperan Problemas	A	≤ 1
		B	≤ 2
Regular	Es posible encontrar situaciones sorprendentes	C	≤ 3
		D	≤ 4
Malo	Es posible encontrar problemas importantes	E	≤ 6
		F	≥ 6

Esta tabla, muestra en forma implícita, el hecho que la probabilidad de cometer un error en la conducción aumenta en la medida en que la CM aumenta. Sin embargo, no refleja en forma adecuada el hecho que en la medida que la CM llega a valores muy bajos, la excesiva distracción del conductor también induce un aumento en la probabilidad de cometer errores en la conducción. Una de las desventajas de la aplicación de este método, es la utilización de una escala subjetiva de apreciación de las condiciones globales de trazado, las cuales se obtienen directamente a partir de

la opinión de los mismos usuarios. Su utilización, requiere de la confección de una base de datos amplia y el uso de técnicas de tipo multicriterio para la construcción de las escalas subjetivas. En contraparte, existen escalas subjetivas como la de Cooper – Harper, que pueden emplearse para correlacionar características geométricas con la Carga mental.

Un ejemplo ilustrativo de lo anterior, es la investigación desarrollada por el *Texas Transport Institute*, quienes han determinado correlaciones entre la escalas de Cooper – Harper y la “demanda visual”, la que a su vez está relacionada con características geométricas. Los principales hallazgos de esta investigación son precisamente el haber encontrado relaciones explícitas entre demanda visual y geometría, pero es necesario complementar la investigación a fin de mejorar las correlaciones entre la escala subjetiva empleada para medir la carga mental y la demanda visual.

5. CONCLUSIONES

El proceso de diseño se basa en un comportamiento supuesto de un “conductor de diseño”. Estudios realizados acerca de accidentes en vías interurbanas, muestran que el proceso de diseño basado en la velocidad de diseño por sí mismo no garantiza que el comportamiento real del “conductor de diseño” sea similar al modelado.

El Análisis de Consistencia, constituye un proceso que complementado al proceso de diseño tradicional, permite analizar la relación entre comportamiento modelado y real de los conductores ante un trazado en particular de modo tal de armonizar el diseño con las expectativas de los conductores.

El Análisis de Consistencia y la investigación que lo sustenta, no tiene por fin último sustituir los modelos que actualmente se emplean en el proceso de diseño. Mas bien tiene por finalidad estudiar las causas de inconsistencias en los diseños, elaborar criterios cuantitativos que permitan evaluar los trazados en términos de su consistencia y proporcionar criterios que permitan dar soluciones a los potenciales problemas de consistencia.

El estado del arte en el Análisis de Consistencia puede agruparse en dos corrientes. Una de ellas basada en el análisis de la velocidad de diseño y geometría, y otro basado en las expectativas de los usuarios. El primero emplea Índices de Alineamiento como principal indicador de consistencia. El segundo análisis empírico del comportamiento de un conductor.

La corriente basada en las expectativas de los usuarios, se puede separar en dos áreas. Una basada en la hipótesis que las diferencias entre velocidad de diseño y operación constituyen en sí mismas inconsistencias en el trazado y otra basada en la hipótesis que el trazado entrega al conductor una mayor información que la que necesita para realizar tareas de conducción, culminando en un aumento de la Carga Mental del individuo que aumenta la probabilidad de que cometa algún error.

La relación entre la velocidad de percentil 85 y la geometría del trazado, constituye el pilar del análisis de consistencia basado en las diferencias entre velocidad de operación y de diseño. De este modo la elaboración de indicadores requiere necesariamente del trabajo de campo que permita encontrar la forma en que se correlaciona la velocidad de operación y el trazado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AASHTO (1994). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. American Association of State Highways and Transportation Officials. Washington D.C. USA.
- Bavkov, V (1968). Road Design and Traffic Safety. **Traffic Engineering & Control**. 9, 236 – 239, London, UK.
- Echaveguren, T y Sáez, J (2001). Estudios de Relaciones Velocidad - Geometría Horizontal en vías de la VIII Región. Artículo presentado en **X Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte**. Concepción, Chile.
- Echaveguren, T Sáez, J Tudela, A (2001). Estabilidad Dinámica en el Diseño del Alineamiento Horizontal. Documento de Trabajo TRA – 001/01. Area de Transporte, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, Chile.
- Faghri, A y Harbeson, M (1999). A Knowledge – Based GIS Approach to the Evaluation of Design Consistency of Horizontal Alignments. **Transportation Research Record 1658**. 1 – 8. Washington D.C., USA.
- Fitzpatrick, K Elefteriadou, I. Harwood, D Collins, J McFadden, J Anderson, I Krammes, R Irizarry, N Parma, K Bauer, K Passetti, K (2000). Alternative Design Consistency Rating Methods for Two – Lane Rural Highways. Publication FHWA – RD – 99 – 172. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., U.S.A.
- Hauer, E (2000). Safety in Geometric Design Standards I: Three anecdotes. **2nd International Symposium on Highway Geometric Design**. 11 – 23. Mainz, Germany.
- Irizarry, N y Krammes, R (1998). Linear Regression Models for Estimating Operating Speeds of Passenger Vehicles on Rural Two-lane Highways. **Actas del X Congreso Panamericano de Transporte**. Artículo No 12, 651 - 658. Santander, España.
- Kanellaidis, G (1990). Driver's speed behaviour on rural road curves. **Traffic Engineering & Control**. 31(7), 414 – 415. London, UK
- Kanellaidis, G (1996). Human Factors in Highway Geometric Design. **Journal of Transportation Engineering**. 122(1), 59 – 66. Washington D.C., USA.
- Lamm, R Guenther, A K y Choueiri, E (1995). Safety Module for Highway Geometric Design. **Transportation Research Record 1512**. 7 - 15. Washington D. C., USA.
- Lamm, R Psarianos, B Choueiri, E y Soilemezoglou, G (1998). Practical Safety Approach to Highway Geometric Design International Case Studies: Germany, Greece, Lebanon, and the United States. **International Symposium on Highway Geometric Design Practices. Conference Proceedings**. 9 – 1. Boston, USA.

Lamm, R Psarianos, B y Mailaender, T (1999). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. 1st Edition. New York: Mcgraw Hill, USA.

McLean, J (1981). Driver speed behaviour and rural road alignment design. **Traffic Engineering & Control**. 4, 208 – 211. London, UK.

Messer, C (1980). Methodology for Evaluating Geometric Design Consistency. **Transportation Research Record 757**. 7 – 14. Washington D.C., USA.

Roess, R McShane, W y Prassas, E (1998). Traffic Engineering. 2nd Edition. New Jersey: Prentice Hall, USA.