

VI Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial

Lima (Perú) – 16, 17 y 18 de Octubre de 2018

Evaluación de Indicadores de Carga de Trabajo en la Conducción

Tema: Consecución de usuarios más seguros

Autor/a: Francisca Guerrero Muñoz

Empresa / Institución: Universidad de Concepción – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Civil

Cargo: Investigadora

Dirección: Edmundo Larenas 219, Concepción, Chile

Email: franguerrero@udec.cl

Teléfono: +5641224320

Título del trabajo: Evaluación de Indicadores de Carga de trabajo en la conducción

Autor (para correspondencia): Tomás Echaveguren

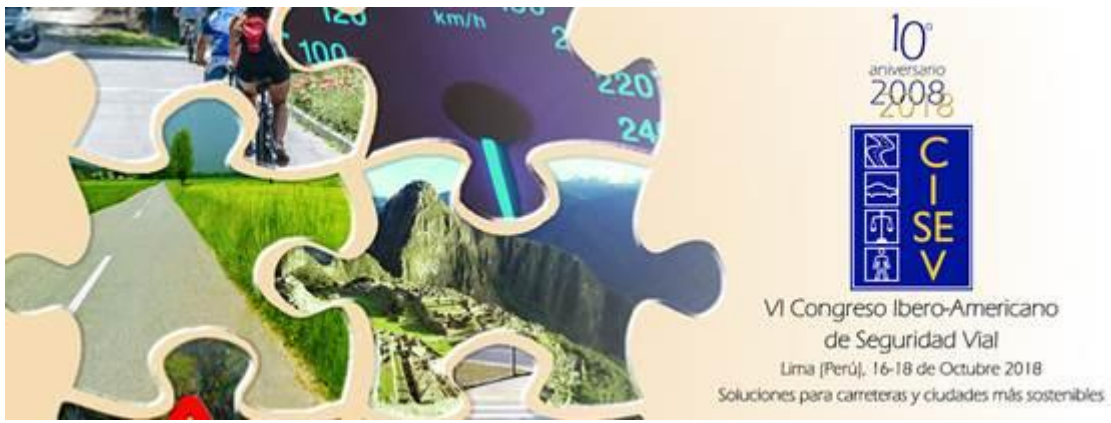
Empresa / Institución: Universidad de Concepción – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Civil

Cargo: Profesor Asociado

Dirección: Edmundo Larenas 219, Concepción, Chile

Email: techaveg@udec.cl

Teléfono: +5641224320



RESUMEN:

El principal desafío que enfrenta el diseño vial es determinar el nivel de seguridad que ofrecen los caminos. El análisis de consistencia del diseño geométrico basada en la carga de trabajo experimentada por los conductores proporciona herramientas para ello. Sin embargo, la WL resulta compleja de estimar. En este trabajo se exploran los indicadores de carga de trabajo existentes en la literatura. Para ello se utilizaron 3 circuitos cargados en un simulador de conducción: una ruta bidireccional interurbana, una autopista y una ruta urbana. Se elaboró un protocolo de experimentación con el simulador de conducción incorporando un escenario de adaptación para cada conductor. El experimento se aplicó a una muestra de 20 individuos con tres métodos de medición: subjetivo (NASA TLX), de rendimiento (tarea secundaria) y fisiológico (electroencefalograma). Se concluyó que los indicadores subjetivo y de rendimiento resultaron sensibles al estilo de conducción y al radio de curvatura de los circuitos rurales. El indicador fisiológico detectó una mayor carga de trabajo en la ruta urbana.

PALABRAS CLAVE (5): CARGA DE TRABAJO, GEOMETRÍA, SEGURIDAD VIAL

INTRODUCCIÓN

La principal evidencia del nivel de seguridad de un camino son los accidentes. En la medida en que un camino exhiba una tasa de accidentes elevada y permanente en el tiempo, se puede afirmar que es inseguro. Durante la etapa de proyecto de un camino resulta complejo establecer a priori si cada una de las alternativas posibles de diseño son o no seguras. Para ello, es necesario contar con modelos predictivos de accidentes o bien contar con métodos de análisis de seguridad basado en la historia de accidentes ocurridos en carreteras. La seguridad vial ha sido abordada históricamente en el diseño a través de la velocidad de diseño y la demanda de visibilidad.

A inicios de la década del 80 McLean (1981) propone la noción de consistencia del diseño geométrico. Plantea que en la medida en que la velocidad de diseño sea muy diferente de la velocidad de operación, los caminos tenderán a ser más inseguros. Lamm et al. (2007) desarrollan un procedimiento de análisis de seguridad para caminos bidireccionales basado en los postulados de McLean (1981), pero soportado además con evidencia empírica de accidentalidad. Surge así el análisis de consistencia del diseño geométrico como una herramienta para verificar durante el diseño el nivel de seguridad de las carreteras.

Uno de los pilares del análisis de consistencia es la velocidad de operación, que agrupa en un solo indicador la multi-dimensionalidad de la velocidad en tanto que elección del conductor según su percepción de seguridad de la carretera. Sin embargo, Messer (1980) postuló que los caminos con diseños inconsistentes tendían a incrementar la carga de trabajo de los conductores, aumentando la posibilidad de que cometan un error que redunde en un accidente. Postulaba que en la medida que los diseños eran más complejos, el esfuerzo de la tarea se incrementaba, disminuyendo el desempeño del conductor. Lo mismo ocurría en la condición opuesta. Caminos monótonos tendían a distraer al conductor, disminuyendo también su desempeño. Así, Messer (1980) prestaba atención al conductor y su percepción de la carretera, incorporando factores humanos como variables adicionales para explicar la seguridad de una carretera.

Desafortunadamente, la complejidad de llevar a la práctica la hipótesis de Messer conspiró para el desarrollo de medios para verificar esta hipótesis, siendo los trabajos

de mayor relevancia los de Hulse et al. (1989), Tsimhoni y Green (1999) y Navin y Musa (2004) quienes logran medir la carga de trabajo de los conductores y relacionarla con el diseño geométrico de las carreteras.

Actualmente, la tecnología disponible permite medir diversas variables de respuesta bio-psico-física de los conductores que abre nuevas posibilidades de retomar este enfoque de análisis. El análisis de consistencia basado en las hipótesis de McLean (1981) y Messer (1980) es complementario por lo cual abren nuevas posibilidades para el desarrollo de procedimientos completos que permitan predecir la respuesta de los conductores al diseño geométrico y predecir el nivel de seguridad que estos ofrecen. Atendiendo a esta oportunidad de desarrollo, el objetivo del artículo fue evaluar indicadores de carga de trabajo mediante un experimento en un simulador de vehículo bajo condiciones definidas para el conductor.

LA CARGA DE TRABAJO EN LA CONDUCCIÓN

La carga de trabajo (WL) corresponde a la proporción de la capacidad mental requerida para ejecutar una tarea o a la medida del esfuerzo aplicado por un operador humano al realizar una cierta tarea, independiente de su calidad (Senders, 1967). Wickens (2002) definen la WL como la diferencia entre las demandas cognitivas propias de la tarea y los recursos atencionales del conductor. De Waard (1996) describe conceptualmente la relación entre la demanda de la tarea de conducción, la carga de trabajo y el desempeño de un conductor como lo muestra la Figura 1.

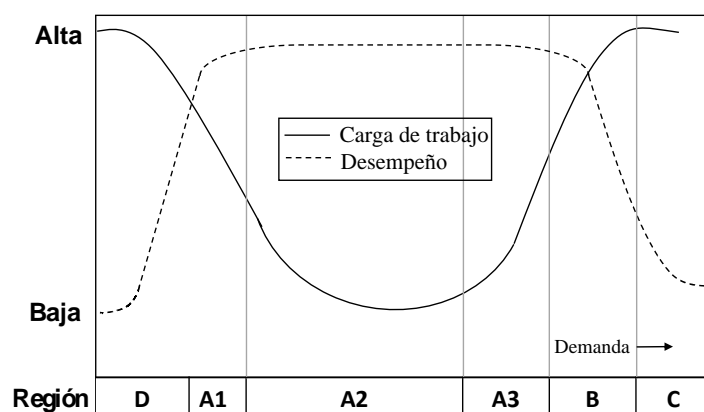


Figura 1 Relación entre la carga de trabajo, la demanda de la tarea de conducción y el desempeño del conductor (De Waard, 1996)

Un conductor alcanzará el mejor desempeño en la tarea de conducción cuando el diseño geométrico de la carretera imponga una demanda intermedia (Zonas A1, A2 y A3 de la Figura 1). El menor desempeño se alcanza cuando el diseño exige una baja demanda de conducción (Zona D), lo cual ocurre en tramos de carreteras rectos que inducen distracción y/o somnolencia. En términos de WL se conoce como la “zona de desactivación” (De Waard, 1996). El desempeño bajo también se produce cuando existe una demanda de conducción excesiva (Zona C), típica de trazados sinuosos en planta y en alzado que imponen un esfuerzo para mantener el control del vehículo o en tramos con diseño geométrico inconsistente. En tal caso se incrementa la cantidad de información a procesar, con lo que el conductor disminuye de manera consciente su rendimiento (Luck y Vecera, 2002; Meyer y Kieras, 1997; Navon y Miller, 2002; Pashler, 1994). Por lo tanto, el riesgo de accidentes se acrecienta en las zonas C y D, y disminuye en las zonas A1, A2 y A3. Por lo anterior, el riesgo de accidentes posee un patrón de comportamiento similar al de WL y por tanto ambas variables se pueden correlacionar para una demanda de tarea determinada.

La WL depende también de la capacidad de los conductores para ejecutar la tarea de conducción y de la demanda de la tarea. De Waard (2002) explica que la variabilidad en las capacidades de diferentes conductores depende de: sus competencias; de la combinación de factores intrínsecos tales como edad, género y experiencia; y de su condición física al momento de conducir. La demanda de la tarea de conducción se clasifica en: demanda proveniente del vehículo y demanda externa al vehículo (Faure, et al., 2016). La demanda proveniente del vehículo tiene que ver con las tareas primarias, (control, frenado y aceleración, cambios de marcha) secundarias (visión de controles, operación de sistemas de aire acondicionado, ventilación y calefacción, uso de GPS, apertura y cierre de puertas) y terciarias de conducción (uso de sistemas de entretenimiento, comer y beber, uso de teléfono móvil) (Naing et al., 2007).

La demanda externa se origina en el procesamiento de información y la mantención del control y el guiado del vehículo (Patten et al., 2004), el tráfico (Brookhuis et al., 1991; Hao et al., 2007; Teh et al., 2014), el tipo de maniobra (Cantin et al., 2009; Hancock et al., 1990), la complejidad geométrica de la ruta y su entorno (Jamson y Merat, 2005) y el tipo de ruta (Young et al., 2009). La modelación de la carga de trabajo contempla dos tareas. La determinación del valor de la WL en ambientes controlados, sean estos obtenidos en terreno o bien en simuladores de conducción e

identificar los aspectos que explican la WL, como lo es la geometría de la carretera, las condiciones ambientales o el estilo de conducción.

MODELOS DE CARGA DE TRABAJO EN FUNCION DE LA GEOMETRIA VIAL

Las características de la ruta y entorno, el nivel de tráfico y las condiciones ambientales llevan a que la carga de trabajo durante la conducción cambie constantemente. Estas características resultan en una demanda física y mental que impacta en las decisiones que adopta el conductor durante el proceso de navegación en la ruta. La modelación cuantitativa del efecto de la geometría de las carreteras sobre la carga de trabajo es escasa. En la literatura resaltan los modelos “Q” de carga de trabajo (Hulse et al., 1989), “DA” sobre demanda de atención (Navin y Musa, 2004) y “VD” sobre demanda visual (Tsimhoni y Green, 1999). Estos modelos valoran la carga de trabajo en escalas de 0 a 100 %, por lo cual son comparables entre sí. La Tabla 1 resume dichos modelos.

Tabla 1 Modelos de carga de trabajo en función de la geometría Hulse et al., 1989; Tsimhoni y Green, 1999; Navin y Musa, 2004)

Modelo	Tipo de Experimento	Indicadores	R ²
DA	Terreno	$DA_D^R = +31.501 + 385.5D - 82671D^2$ $DA_V^R = -197.54 + 8.153V - 0.061V^2$ $DA_D^O = +23.962 + 1167.8D - 19933D^2$ $DA_V^O = -248.15 + 13.347V - 0.1523V^2$ $DA_D^{85} = +34.858 + 1346.1D - 41365D^2$ $DA_V^{85} = -17.198 + 2.1324V - 0.0174V^2$	0.86 a 0.96
VD	Simulador de conducción	$VD = +0.388 + \frac{33.22}{R}$ $VD = +0.257 + \frac{33.22}{R} + 0.003(\text{Edad})$	0.22 a 0.37
Q	Terreno	$Q = +0.4B + 0.3E + 0.2C + 0.1G$ $E = 100 \frac{R_{\max}}{R}$; $G = -36.5W + 267$; $C = -40S_o + 100$; $B = 20 \log_2 \left(\frac{500}{S_d} \right)$	0.73

V: velocidad instantánea (km/h); R: radio de curva horizontal (m); D: curvatura 1/R (1/m); Def: ángulo de deflexión (°); Rmax: radio máximo (m); W: ancho de pista (m); So: distancia a la obstrucción más cercana (m); Sd: distancia de visibilidad; DA_D^R: escenario retraso según curvatura (%); DA_V^R: escenario retraso según la velocidad (%); DA_D^O: escenario de ocio según curvatura (%); DA_V^O: escenario de ocio según la velocidad (%); DA_D⁸⁵: según curvatura y percentil 85 de la velocidad (%); DA_V⁸⁵: escenario de velocidad de percentil 85 (%); VD: Demanda visual (%); Q: carga de trabajo (%); E: factor de curvatura (adimensional); G: factor de ancho de pista (adimensional); C: factor de distancia de obstrucción (adimensional); B: factor distancia de visibilidad (adimensional).

MEDICION DE LA CARGA DE TRABAJO

La medición de WL en conductores se agrupa en tres categorías (De Waard, 1996): medición de rendimiento durante la tarea de conducción, medición subjetiva basada en la percepción individual del esfuerzo por el conductor y mediciones fisiológicas. La medición de rendimiento se realiza a partir de la velocidad, trayectoria lineal y la incorporación de una tarea secundaria (Senders, 1967). La medición subjetiva se realiza mediante métodos multidimensionales como el SWAT (técnica subjetiva de evaluación de carga de trabajo) de Reid et al. (1981, 1982) y el método NASA TLX (Índice de carga de tarea), de Hart y Staveland (1988). Dentro los métodos fisiológicos se incluyen la medición del ritmo cardíaco (Roscoe, 1992), de niveles hormonales, composición de la orina, sudor, sangre y saliva, actividad ocular, frecuencia de pestañeo (Savage et al., 2013), dilatación pupilar (Pedrotti et al., 2014). Por último, la medición de actividad cerebral mediante electroencefalógrafos (EEG) (Gevin y Smith 2003; Holm et al., 2009; Borghini et al., 2011), con índices en función de los cambios del PSD (Densidad espectral de potencia) de las bandas delta (1-5 Hz), Theta (5-8 Hz), alfa (8-12 Hz) y beta (mayor 12 Hz) corresponden a las técnicas más sofisticadas actualmente disponibles.

Estudiar la carga de trabajo en terreno es complejo debido a la dificultad que reviste medirla durante la tarea de conducción y el poco control de los escenarios de medición. Solo es posible medir WL en las zonas A1, A2, y A3, considerando que en las zonas B, C y D se podría comprometer la integridad del sujeto de estudio. Los desarrollos tecnológicos han permitido que los simuladores de conducción, originalmente desarrollados para entrenar pilotos y conductores, ofrezcan oportunidades de controlar los escenarios de medición. Constituyen un ámbito emergente en la modelación del efecto de la geometría y el tráfico sobre la carga de trabajo durante la conducción. Green et al. (1994), de Waard et al. (2008) y Donkor et al. (2014), validaron los simuladores de conducción para tal propósito en términos de los aspectos emocionales, de la respuesta al riesgo y de la selección de velocidad de circulación.

Indicador subjetivo de la carga de trabajo

El indicador subjetivo NASA TLX está basado en la opinión del individuo (Hart y Steveland, 1988). Consiste en una valoración multidimensional que entrega una puntuación global de WL a partir de la media ponderada de las puntuaciones de seis

sub-escalas. El método se aplica en dos fases: La fase de ponderación, previo a la sesión de simulación, y la fase de puntuación, aplicada al finalizar la tarea. Las dimensiones consideradas por el indicador son: exigencia mental (M), exigencia física (F), exigencia temporal (T), esfuerzo (E), rendimiento (R) y el nivel de frustración (Fr). La fase de ponderación determina el grado en que cada uno de estas seis dimensiones contribuye a la WL. El individuo selecciona de cada par de dimensiones cuál percibe como una mayor fuente de WL. A partir de estas elecciones se obtiene una ponderación de cada dimensión en función del número de veces que fue elegida. En la fase de puntuación el individuo valora la tarea que acaba de realizar en cada una de las dimensiones, marcando con un punto de exigencia en la escala de 20 intervalos para cada una de las dimensiones. Cada factor presenta una línea dividida en 20 intervalos iguales y limitada bipolarmente por los descriptores “bajo” y “alto”. Para obtener el valor de WL según el indicador se realiza una suma ponderada de la puntuación de WL por dimensión asignada.

Indicador de medición de rendimiento

Este indicador determina cuánto trabajo adicional puede realizar el operador mientras ejecuta la tarea primaria de conducción mientras realiza una tarea secundaria de conducción (Knowles, 1963). La tarea secundaria corresponde a la memorización de una lista de siete números aleatorios. Permite valorar la exigencia de varias secciones de una carretera separadas por una distancia que permita diferenciar cada sección. El registro de respuestas se divide en dos estados: estado “neutro”, resultado sólo de la tarea secundaria, y estado de “conducción”, resultado de la tarea primaria y secundaria simultáneamente. Para el cálculo de la demanda de atención por sección se utiliza la Ecuación 1 (Hicks y Wierwille, 1979), en la cual DA_E corresponde al porcentaje de demanda de atención de la sección, “Rps” es el registro de respuestas correcta en el estado de “conducción” y “Rs” el registro de respuestas correctas del estado “neutro”.

$$DA_E = 100 \left(1 - \frac{Rps}{Rs} \right) \quad (1)$$

Indicador de medición fisiológica

El indicador busca determinar los cambios en la densidad espectral para la banda Theta (4-8 hz) en la corteza pre frontal, asumiendo que aumento de la WL de un operador en una tarea primaria y/o secundaria, se refleja en el incremento en la

densidad espectral de la banda theta (Borghini, et al., 2012). El procedimiento consiste en obtener las señales del dispositivo de registro EEG con una frecuencia de muestreo de 128 Hz. Los valores obtenidos del registro se procesan mediante la transformada de Fourier y de Fourier Inversa) para cada ritmo cerebral para eliminar el ruido. Luego se calcula el PSD de la banda Theta sobre ventanas de 1 segundo traslapadas al 50% para todo el largo de la señal, obteniéndose un vector con valores de PSD cada 0.5 segundos que representa la variación de WL.

EXPERIMENTO DE ESTIMACIÓN DE CARGA DE TRABAJO

El experimento para estimar la carga de trabajo se realizó en un simulador de conducción y un casco de registro electroencefalográfico Epoc+. El simulador es una plataforma con dos direcciones de movimiento que cuenta con todos los implementos que identifican un vehículo liviano, como la palanca de cambio (mecánico y automático), bocina, luces y cinturón de seguridad, entre otras. Permite recrear la tarea de conducción a través de una realidad virtual en tres monitores HD con un campo visual de 135°. El casco Epoc+ es un dispositivo inalámbrico de interfaz cerebro-computador (BCI) basado en la tecnología utilizada en la electroencefalografía. Cuenta con 14 sensores y un registro en 128 o 256 Hz que permiten detectar la actividad cerebral de un individuo realizando una actividad o varias actividades al mismo tiempo.

Se elaboró un protocolo de utilización del simulador de conducción (PEX) para sistematizar la experimentación. Las etapas del PEX y las específicas del experimento de estimación de carga de trabajo se muestran en la Figura 2. Se consideraron tres tipos de rutas: interurbana (INT), autopista (AUT) y urbana (URB). Las mediciones en las rutas AUT y URB consistieron en un registro continuo de EEG en los cinco minutos de conducción por circuito.

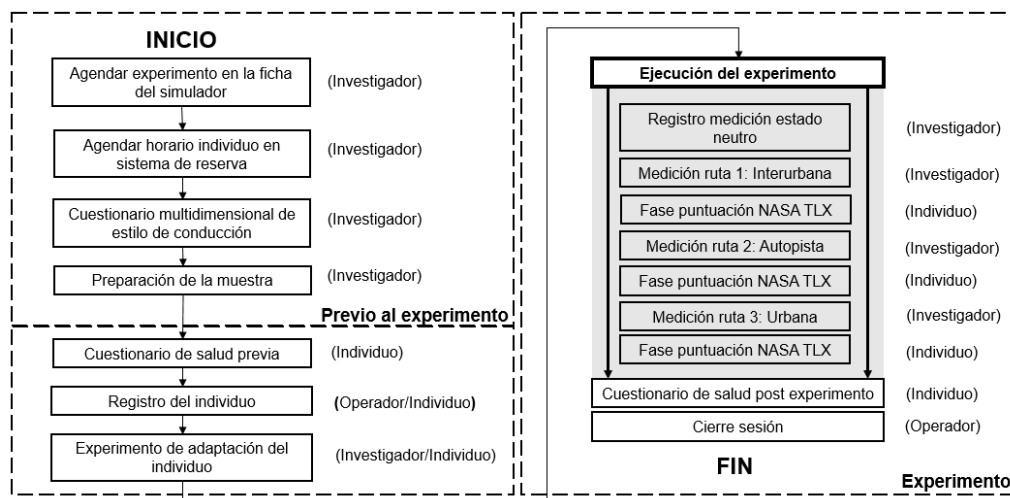
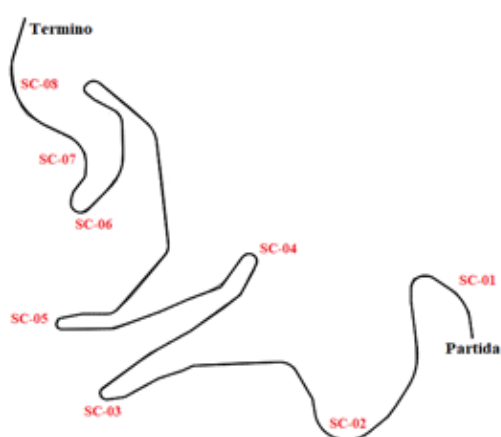


Figura 2 Etapas del procedimiento de experimentación

La carga de trabajo por sección se midió en la ruta INT de la Figura 3. Dicha ruta es de 12 km de extensión, de una pista por sentido, con curvas horizontales de radios entre 30 y 400 m, y tramos rectos entre 25 y 1000 m, en terreno ondulado con pendientes positivas y negativas. Los radios se clasificaron en aquellos inferiores a 250 m (Categoría I), y aquellos superiores a 250 m (Categoría II). La visibilidad en cada curva se clasificó como “alta” y “baja” observando previamente el circuito. Las condiciones de circulación en el simulador se controlaron de manera que no interfiriera en la medición de WL. Se consideró así un escenario de conducción diurna, con nivel de tráfico bajo y clima nublado.



Sección	Radio (m)	Categoría	Visibilidad
SC-01	300	II	Baja
SC-02	200	I	Baja
SC-03	40	I	Baja
SC-04	50	I	Baja
SC-05	30	I	Baja
SC-06	60	I	Alta
SC-07	200	I	Alta
SC-08	400	II	Baja

Figura 3 Geometría de la ruta utilizada en el estudio

Se consideró una muestra de 20 individuos, de los cuales se excluyeron 7 individuos debido a que: (a) no cumplían las restricciones del sujeto de prueba, (b) no siguieron

las indicaciones para la simulación, (c) contestaron incorrectamente el o los cuestionarios de salud y/o (d) no contestaron adecuadamente cuestionario de estilo de conducción de González (2016). Así la muestra de análisis se redujo a 13 individuos mayores de 18 años y con tiempo de conducción regular los últimos tres meses. Las edades de la muestra estuvieron en el rango de 18 a 28 años, con mediana de edades de 22 años. La experiencia de conducción de la muestra de análisis se presentó en el rango entre menos de un año a 8 años de experiencia, con mediana de 5 años. Después de aplicar el cuestionario MSDI de González (2016) se obtuvo un 15 % de la muestra con estilo de conducción ansioso (ANS), un 39 % con estilo reducción de estrés (RES) y un 46 % riesgo y alta velocidad (RAV).

ANALISIS DE INDICADORES DE CARGA DE TRABAJO

Los indicadores analizados fueron: (a) índice de carga de trabajo DA, (b) índice de carga de trabajo VD; (c) indicador subjetivo NASA TLX; (d) indicador de rendimiento tarea secundaria y (e), indicador fisiológico Δ PSD. La aplicación se dividió en dos escenarios: el escenario ruta para los métodos (c) y (e) y el escenario sección para los métodos (a), (b), (d) y (e).

Cálculo con índices DA y VD

Los modelos de carga de trabajo DA y VD se aplicaron a la configuración geométrica de las secciones curvas de la ruta INT. Los resultados obtenidos se entregan en la Tabla 2. Para el modelo VD, se representaron los resultados del rango etario de 20 a 30 años de edad y ambos escenarios para el modelo DA.

Tabla 2 Resultados de DA y VD del escenario INT

Sección	Radio (m)	DA (%)		VD (%)
		Retraso	Tiempo de ocio	Intervalo 20-30
SC-01	300	43.4	27.6	44.3
SC-02	200	48.7	29.3	49.8
SC-03	40	76.1	40.7	116.2
SC-04	50	75.5	39.3	99.6
SC-05	30	68.0	40.7	143.9
SC-06	60	72.7	37.9	88.5
SC-07	200	48.7	29.3	49.8
SC-08	400	40.6	26.8	41.5

El modelo DA, identifica de la sección SC-03 a la SC-06 la mayor carga de trabajo exigida por la geometría, y el modelo VD considera las secciones SC-03 y SC-05 fuera

del espacio de inferencia. Como el experimento se desarrolló sin presión de tiempo en la conducción, para el análisis se consideraron los valores de WL del escenario tiempo de ocio. Así, la WL según el modelo DA se mantuvo en el rango de carga entre el 28 % y 40 % diferenciado completamente del modelo VD con un rango superior entre el 42% y sobre el 100 %.

La Figura 4 presenta los valores de WL obtenidos con los modelos DA y VD para las ocho curvas horizontales seleccionadas del circuito. No se incluyen los resultados de las curvas que entregaban valores de WL superiores al 100%.

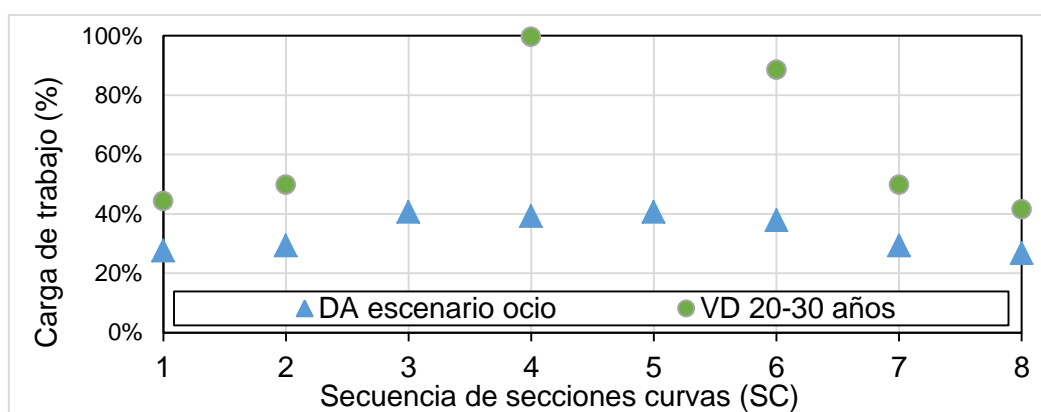


Figura 4 DA y VD para el escenario INT

El modelo DA considera las secciones curvas del circuito de INT representado con una carga de trabajo de un 34 % sin diferencias significativas según las categorías de radios. El modelo VD representa las secciones curvas de la ruta INT con una carga de trabajo del 69 %, no identificando una diferencia significativa entre las categorías de radio de curvatura pero sí, entre los radios inferiores y superiores a 100 m.

Cálculo de WL con el indicador NASA TLX

El indicador NASA TLX estima la WL a través de una puntuación global calculada como la media ponderada de las seis dimensiones antes mencionadas. La escala de medición es de cero a uno, de menor a mayor WL. El resultado del método entrega la percepción de cada individuo en relación a la conducción simulada del experimento. Los resultados obtenidos para la ruta INT, AUT y URB y estilo de conducción se representan en la Figura 5.

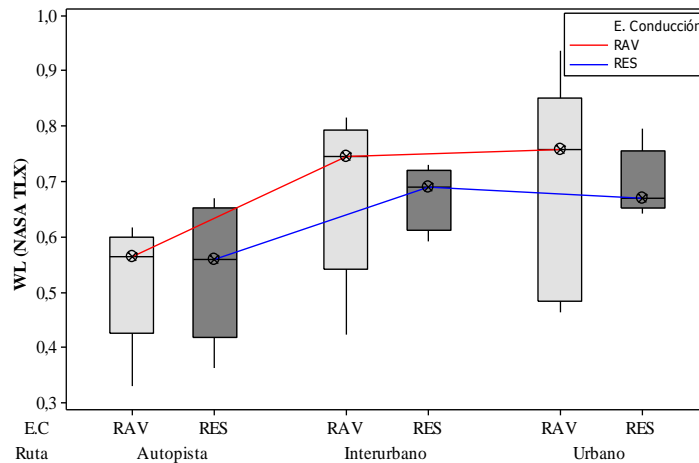


Figura 5 Indicador NASA TLX por estilo de conducción y ruta

En la Figura 5 se puede apreciar una distribución asimétrica de la WL en las tres rutas. Asimismo las medianas de WL fueron de 0.55, 0.69 y 0.72 para los escenarios AUT, INT y URB respectivamente, llegando al valor WL=1 en la ruta URB. Esto resulta consistente con las características de los escenarios analizados. En las tres rutas la carga de trabajo obtenida para el estilo RAV resultó superior al estilo RES, lo que preliminarmente explica que la WL medida con el indicador NASA TLX depende del estilo de conducción y que los conductores dispuestos a aceptar mayor riesgo experimentan una mayor carga de trabajo.

Cálculo de WL con el indicador de tarea secundaria

Los resultados de WL según el método de tarea secundaria (TS) se representan con la variable demanda de atención (DA_E) de la Ecuación 1. Los resultados de WL de cada sección curva consecutiva de la ruta INT se presentan la Figura 6. La WL de los tramos curvos varía entre 0.13 y 0.55, alcanzando la máxima demanda ($DA_E=1.0$) en las curvas de 200 m. Destaca la WL superior en las secciones curvas del primer tramo del circuito INT (SC-01 a SC-04) al segundo tramo (hasta la SC-08), donde además se puede observar un aumento en la media a medida que avanza el circuito. Esto posiblemente refleja una adaptación del conductor al circuito INT.

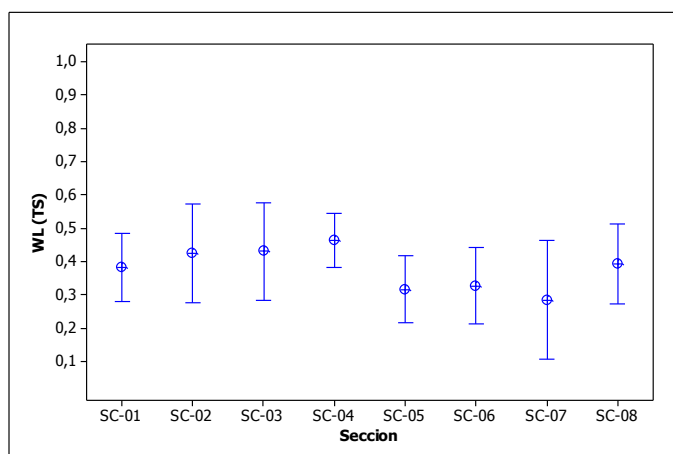


Figura 6 Intervalos de carga de trabajo por sección según tarea secundaria

Posteriormente los valores de WL se clasificaron en función del radio de curvatura y los dos estilos de conducción más representativos de la muestra (RES y RAV). (Ver Figura 7).

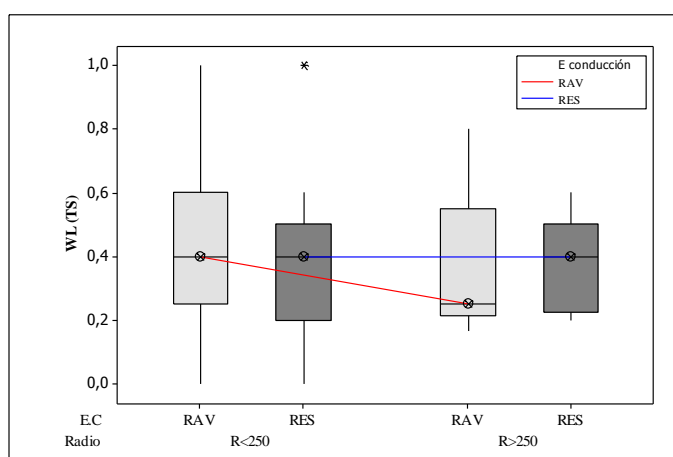


Figura 7 WL clasificada según radio y estilo de conducción

La Figura 7 muestra que los conductores asociados al estilo de conducción RES mantienen la carga de trabajo independientemente del radio de curvatura. El test t de igualdad de medias arrojó un valor p de 0,8 para dicho estilo. En el caso del estilo de conducción RAV se aprecia el fenómeno contrario: la WL aumenta en la medida que disminuye el radio. Este resultado es consistente con los modelos de la Tabla 1.

Cálculo de indicador fisiológico de WL

Este indicador se calculó por sección en el circuito INT. El indicador ΔPSD se mide en mV^2/Hz . Un mayor valor de ΔPSD se correlaciona con una carga de trabajo alta. Para

representar los resultados obtenidos en cada ruta se utilizó un gráfico de intervalos de confianza (IC) de 95% de la media para cada grupo observada en la Figura 8.

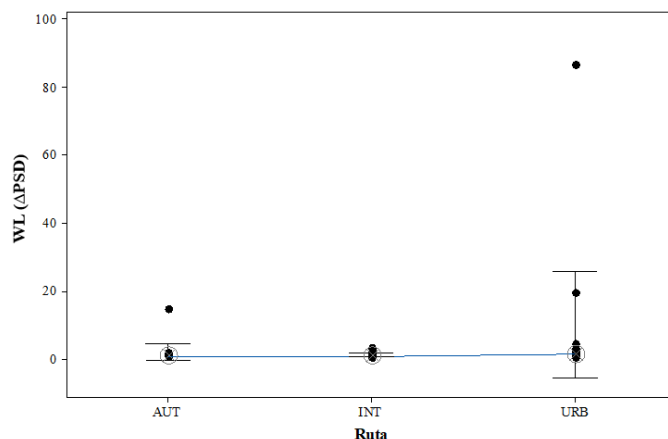


Figura 8 WL por ruta en términos de Δ PSD

Se puede observar que la ruta INT presenta menor variabilidad de Δ PSD que las otras rutas, concentrando el 75% de los datos bajo 2 (mV^2/Hz). En la ruta URB los conductores experimentaron una mayor WL, con mayor variabilidad e incluyendo un dato atípico. En la ruta AUT la media de Δ PSD resultó superior a la ruta INT. No se observó un comportamiento representativo por estilo de conducción en los resultados de WL según el método de registro EEG. Los resultados obtenidos con el indicador Δ PSD por sección se muestran en la Figura 9. Se aprecia que la WL es estable sección a sección y que el intervalo de confianza de la media es similar y amplio en todas las secciones con excepción de la SC-07. La media en cada sección varía entre 0.25 y 0.45. No se observó un comportamiento representativo por estilo de conducción ni las categorías de radio de curvatura y visibilidad en los resultados de WL.

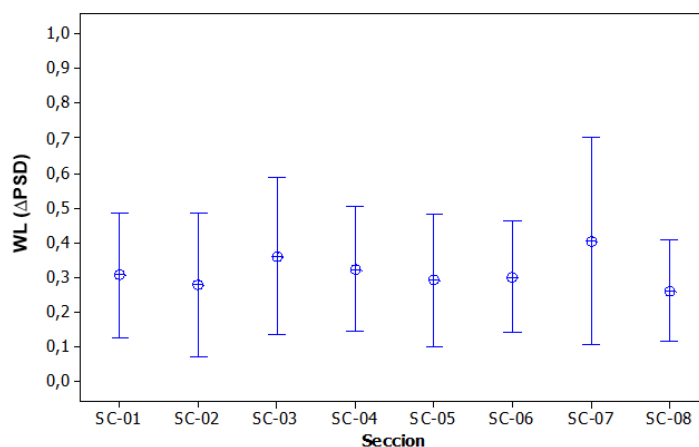


Figura 9 Carga de trabajo por sección según Δ PSD

CONCLUSIONES

El propósito del trabajo fue evaluar indicadores de carga de trabajo usando un experimento de medición en un simulador de conducción y analizar el comportamiento de cada uno de ellos frente a variables geométricas, de entorno y del individuo. A partir de este análisis se obtuvieron las siguientes conclusiones:

El modelo DA resultó insensible al radio de curvatura. Por tanto no resulta adecuado para estimar WL por sección pero si para circuitos completos. Por su parte, el modelo VD si resultó sensible al radio curvatura pero para curvas de radios superiores a los 100 m. Estos modelos permitieron caracterizar a priori la geometría de los circuitos pero no analizar el efecto de los estilos de conducción.

El indicador NASA TLX identificó los circuitos autopista y urbano como las rutas de menor y mayor carga de trabajo, respectivamente. Asimismo, el indicador resultó sensible al estilo de conducción. Los individuos identificados con el estilo de conducción RAV experimentaron WL estadísticamente diferente en las tres rutas analizadas, en tanto que los conductores asociados al estilo RES no experimentaron variaciones sustantivas en la WL medida en los 3 circuitos analizados.

El indicador de tarea secundaria resultó sensible al estilo de conducción. Por un lado los conductores asociados al estilo RES no experimentaron variaciones en la WL según la curvatura. Por el contrario, los conductores asociados al estilo RAV experimentaron una mayor carga de trabajo cuando los radios de curvatura eran menores. Esto implica que la WL está influenciada por el estilo de conducción.

Con el indicador Δ PSD no se obtuvieron resultados concluyentes debido a su alta variabilidad. Sin embargo se pudo detectar que el circuito URB impuso una mayor carga de trabajo que el resto de circuitos, lo cual resulta coherente. En contraparte, el indicador no resultó sensible a la curvatura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) del Ministerio de Educación de Chile por el financiamiento otorgado al proyecto FONDECYT Regular 1160128, dentro del cual se enmarca la investigación descrita en este trabajo.

REFERENCIAS

- Borghini, G., R. Isabella, G. Vecchiato, J. Toppi, L. Astolfi, C. Caltagirone y F. Babiloni. (2011). Brainshield HREEG study of perceived pilot mental workload. *Italian Journal of Aerospace Medicine*, 5, 34-47.
- Brookhuis, K.A., G. De Vries y D. de Waard. (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, 23(4), 309-316.
- Cantin, V., M. Lavallière, M. Simoneau y N. Teasdale (2009). Mental workload when driving a simulator: Effects of age and driving complexity. *Accident Analysis and Prevention*, 41, 763-771.
- De Waard, D. (1996). *The Measurement of Drivers' Mental Workload*. Traffic Research Center VSC. Haren.
- Donkor, R. A., G.A. Burnett y S. Sharples. (2014) Measuring the emotional validity of driving simulators. *Advances in Transportation Studies*, 1, 51-64.
- Faure V., R. Lobjois y N. Benguigui. (2016) The effects of driving environment complexity and dual tasking on drivers' mental workload and eye blink behavior. *Transportation Research Part F*, 40. 78- 90.
- Gevin, A. y M.E. Smith. (2003) Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. *Theoretical Issues in Ergonomic Sciences*, 40 (1). 79-91.
- González, D. (2016) *Diseño de un experimento para la evaluación de estilos de conducción en carreteras*. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Chile.
- Green, P., B. Lin y T. Bagian. (1994) *Driver Workload as a Function of Road Geometry: A Pilot Experiment*. Technical Report UMTRI-93-39. Universidad de Michigan.
- Hancock, P.A., G. Wulf, D. Thom y P. Fassnacht. (1990) Driver workload during differing driving maneuvers. *Accident Analysis & Prevention*, 22, 281-290.
- Hao, X., Z. Wang, F. Yang, Y. Yang, Y. Guo y K. Zhang. (2007) The effect of traffic on situation awareness and mental workload: Simulator-based study. En D. Harris (Ed.). *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*. Springer- Verlag. Berlín.
- Hart, S. G. y L.E. Staveland. (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. En P. A. Hancock y N. Meshkati (Eds.). *Human mental workload*. North-Holland, Amsterdam.
- Hicks, T. G., & Wierwille, W. W. (1979) Comparison of five mental workload assessment procedures in a moving-base driving simulator. *Human Factors*, 21(2), 129-143.

- Holm, A., K. Lukander, J. Korpela, M. Sallinen, K.M.I. Müller. (2009) Estimating brain load from the EEG. *The Scientific World Journal*, 9, 639-651.
- Hulse, M.C., T.A. Dingus, T. Fischer y W.W. Wierwille. (1989) The influence of roadway parameters on driver perception of attentional demand. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety*, 1, 451-456.
- Jamson, A.H y N. Merat. (2005) Surrogate in-vehicle information systems and driver behaviour: Effects of visual and cognitive load in simulated rural driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8, 79-96.
- Kennedy, R. S., N. E. Lane, K. S. Berbaum y M. G. (1993) Lilienthal. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3(3), 203-220.
- Knowles W.B. (1963) Operator loading tasks. *Human factors*, 5 (2). 155-161.
- Lamm, R., A. Beck, T. Ruscher, T. Mailaender, S. Cafiso, y G. La Cava (2007) How to make two – lane rural roads safer, scientific background and guide for practical application. 1era Edición, WIT Press. Reino Unido.
- Luck, S.J. y S.P. Vecera. (2002) Attention. En H. Pashler y S. Yantis (eds.). *Stevens' Handbook of Experimental Psychology: Vol 1. Sensation and Perception*. Wiley. Nueva York.
- McLean, J. (1981) Driver Speed Behavior and Rural Road Alignment Design. *Traffic Engineering & Control*, 4, 208 – 211.
- Messer, C. (1980) Methodology for Evaluating Geometric Design Consistency. *Transportation Research Record*, 757, 7 –14.
- Meyer, D.E. y D.E. Kieras. (1997) A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: I. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104(1). 3-65.
- Naing, C., Bayer, S., Van Elslande, P. y Fouquet, F. (2007). Which Factors and Situations for Human Functional Failures?. *Developing Grids for Accident Causation Analysis*. Report D5.2, Traffic Accident Causation in Europe (TRACE). Project N° 027763. 2007.
- Navin, F. P. D. y P.T. Musa. (2004) The effects of speed and driver adaptive strategies on driver workload assessment. *Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington DC. Estados Unidos. Enero.
- Navon, D. y J. Miller. (2002) Queuing or Sharing? A critical evaluation of the single-bottleneck notion. *Cognitive Psychology*, 44(3), 193-251.

Pashler, H. (1994) Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116 (2), 220-244.

Patten, C. J., A. Kircher, J. Östlund y L. Nilsson. (2004) Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Accident Analysis and Prevention*, 36(3), 341-350.

Pedrotti, M., M.A. Mirzaei, A. Tedesco, J.-R. Chardonnet, F. Mérienne, S. Benedetto y T. Baccino. (2014) Automatic stress classification with pupil diameter analysis. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30, 1-17.

Reid, G. B., C.A. Shingledecker y F.T. Eggemeier. (1981) Application of conjoint measurement to workload scale development. En Sugarman (Ed.). *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*. Los Ángeles. Octubre.

Reid, G.B., F.T. Eggemeier y C.A. Shingledecker. (1982) Subjective workload assessment technique. Air Force Flight Test Center Edwards. California.

Roscoe, A. H. Assessing pilot workload. (1992) Why measure heart rate, HRV and respiration?. *Biological psychology*, 34(2), 259-287.

Savage, S.W., D. Potter y B.W. Tatler. (2013) Does preoccupation impair Hazard perception? A simultaneous EEG and eye tracking study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 17, 52-62.

Senders, J. W., A.B. Kristofferson., W.H. Levison, C.W. Dietrich y J.L. Ward. (1967) The attentional demand of automobile driving. *Highway Research Record*, 195, 15-33.

Teh, E., S. Jamson, O. Carsten y H. Jamson. (2014) Temporal fluctuations in driving demand: The effect of traffic complexity on subjective measures of workload and driving performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 22, 207-217.

Tsimhoni, O. y P. Green. (1999) Visual Demand of Driving Curves as Determined by Visual Occlusion. *Proceedings of the 8th International Conference on Vision in Vehicles*. Boston. Estados Unidos. Agosto.

Wickens, C.D. (2002). Situation awareness and workload in aviation. *Current directions in psychological science*, 11(4). 128-133.

Young, M.S., J.M. Mahfoud, N.A. Stanton, P.M. Salmon, D.P. Jenkins y G.H. Walker. (2009). The implications of roadside advertising for driver attention and eye movements. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12, 381-388.