



**Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería - Programa de Magister en Ciencias de la Ingeniería  
con mención en Ingeniería Civil**

**ANÁLISIS DE LA TAREA SECUNDARIA COMO MÉTODO  
DE MEDICIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO DEL  
CONDUCTOR EN UN SIMULADOR DE CONDUCCIÓN**

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción  
para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en  
Ingeniería Civil

**POR FRANCISCA ALEJANDRA GUERRERO MUÑOZ**

Profesor Guía: Dr. Tomás Echaveguren Navarro

Octubre 2020  
Concepción – Chile



## AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Fondo Nacional de Desarrollo Científico FONDECYT N°1160128 y FONDEQUIP EQM150029 por el financiamiento otorgado dentro del cual se enmarca esta memoria de Título.

A mi profesor Tomas Echaveguren por la confianza y el apoyo que me otorgó durante este proceso académico. Igualmente, agradecer a mi casa de estudios, la Universidad de Concepción, por la calidad de sus profesores e instalaciones.

Agradecer mi pilar fundamental en todas las decisiones de mi vida: mis padres Ivón Muñoz Viscay y Luis Guerrero Ortega, abuelas Sara Viscay y Elena Ortega, hermanas Daniela Guerrero Muñoz y Paz Guerrero Muñoz, y en recuerdo de mis difuntos abuelos Omar Muñoz y Juan Guerrero. Me enseñaron el valor de no rendirse ante nada y que dos es siempre más que uno.

Por último, agradecer a mis compañeros de estudio y oficina Karina, Manuel, Gustavo, Pablo y Daryl, por hacer de esta etapa entretenida.

## RESUMEN

La carga de trabajo del conductor es el concepto que considera el factor humano en el desafío de determinar el nivel de seguridad que ofrece un camino. La medición de la carga de trabajo se encuentra sujeta a la relación entre los factores de la demanda de la tarea de conducción y las capacidades del mismo conductor. La variabilidad en las condiciones de conducción y del propio individuo ha llevado a una infinidad de métodos que permiten medir la carga de trabajo frente a una situación específica adaptada al método, en relación a: condición de tráfico, medición en terreno o simulada, velocidad controlada o libre, con o sin distracción, entre otras. Las restricciones exigidas en cada método evitan una medición continua y real del comportamiento y estrés del individuo producto de la conducción, limitando al investigador a medir solo la carga de trabajo o solo el rendimiento bajo una condición "Real" de conducción. En función de esto, este trabajo analiza la carga de trabajo obtenida por el método de medición de tarea secundaria "operación matemática" respecto a los factores de demanda de la tarea: radio de curvatura, pendiente y velocidad de operación, aplicado bajo la restricción del método y en conjunto con el rendimiento en la conducción. Para el experimento se utilizaron 13 curvas horizontales virtualizadas en un simulador de conducción y se aplicaron cuatro escenarios de combinaciones de los factores de la demanda de la tarea. Se concluyó que el método de demanda de atención puede ser aplicado de forma continua bajo la condición de reducción de rendimiento en las combinaciones de demanda de la tarea del experimento, ya que detectó diferencias significativas entre alta y baja carga de trabajo en condición de rendimiento óptimo (restricción del método) y reducido.

## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
GLOSARIO.....	IX
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Hipótesis de trabajo.....	2
1.3 Objetivos .....	2
1.4 Metodología de trabajo .....	2
1.5 Organización de la tesis .....	4
CAPÍTULO 2 LA CARGA DE TRABAJO EN LA CONDUCCIÓN.....	5
2.1 Introducción .....	5
2.2 La carga de trabajo de un conductor.....	5
2.3 Medición de la carga de trabajo .....	8
2.4 Conclusiones .....	10
CAPÍTULO 3 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	11
3.1 Introducción .....	11
3.2 Objetivo del experimento.....	11
3.3 Modelo experimental.....	11
3.4 Variables de medición.....	12
3.5 Equipamiento .....	14
3.6 Características del trazado virtual.....	15
3.7 Procedimiento de experimentación .....	16
3.8 Conclusiones .....	19
CAPÍTULO 4 MEDICIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO.....	21
4.1 Introducción .....	21
4.2 Base de datos .....	21
4.3 Demanda de atención.....	22

4.4	Error cuadrático medio del <i>steering</i> .....	24
4.5	Relación entre la demanda de atención y el rendimiento en la conducción.....	27
4.6	Conclusiones.....	31
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....		33
REFERENCIAS .....		36
ANEXOS .....		43
ANEXO 3.1 PROTOCOLO DE UTILIZACIÓN DEL SIMULADOR DE CONDUCCIÓN DEL LABORATORIO GESITRAN.....		43



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Escenarios del experimento y sus respectivas combinaciones de variables de TD.....	18
Tabla 4.1 Análisis de varianza de las variables independientes para el método DA.....	24
Tabla 4.2 Análisis de varianza de las variables independientes para el método RMSs .....	26
Tabla 4.3 Análisis de varianza de las variables independientes para DA en rendimiento óptimo .....	29
Tabla 4.4 Análisis de varianza de las variables independientes para DA en rendimiento pobre .....	29
Tabla A.3.1 Descripción de actividades de la etapa previa al experimento .....	45
Tabla A.3.2 Descripción de actividades durante el experimento.....	46
Tabla A.3.3 Procedimiento de agendamiento de horario en el sistema de reserva.....	49
Tabla A.3.4 Procedimiento de registro de individuo.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Relación entre la carga de trabajo, la demanda de la tarea de conducción y el desempeño del conductor .....	6
Figura 3.1 Variables dependiente e independientes del experimento.....	12
Figura 3.2 Secciones de estudio de la ruta INT .....	16
Figura 4.1 Demanda de atención por radio de curvatura y escenario del experimento .....	23
Figura 4.2 RMSs por radio de curvatura y escenario del experimento .....	25
Figura 4.3 Gráfica de frecuencia de DA .....	29
Figura 4.4 Gráfica de conglomerados de DA y RC .....	30
Figura A.3.1 Procedimientos previos .....	43
Figura A.3.2 Procedimientos durante el experimento .....	44





**GLOSARIO**

DA:	Demanda de atención
IC:	Índice de consistencia
R:	Radio de curvatura
RC:	Rendimiento en el control del vehículo
RMSs:	Error cuadrático medio del <i>steering</i>
RMSs*:	Error cuadrático medio del <i>steering</i> óptimo por individuo y conjunto de radio
Rs:	Tiempo de respuesta del conductor j sin tarea de conducción
Rsp:	Tiempo de respuesta en la tarea secundaria del conductor j circulando por la sección s
SC-N°:	Sección de estudio de la ruta virtual interurbana
VE:	Velocidad exigida bajo la condición de IC <-20 km/h
VD:	Velocidad de diseño de la sección
WL:	Carga de trabajo del conductor

## **CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Motivación**

En la medida que los diseños geométricos sean más complejos o que las condiciones de conducción incrementen el esfuerzo de la tarea el desempeño del conductor se verá reducido. La carga de trabajo se define como la diferencia entre la demanda cognitiva propia de la tarea de conducción y los recursos atencionales (capacidades y estado) del conductor.

La arista del comportamiento humano en la conducción plantea la pregunta de investigación de cuándo una demanda en la conducción inadecuada (muy alta o muy baja) puede llevar a errores en el procesamiento de información de la ruta y del ambiente que concluyan en un accidente. Responder la pregunta de investigación permitiría a la ingeniería determinar las condiciones óptimas del diseño de la ruta utilizando la carga de trabajo como un predictor de accidentes.

Por esta razón se hace fundamental determinar un método de medición de carga de trabajo que permita representar las capacidades y limitaciones del operador sin intervenciones ni sesgos producto de la aplicación de un experimento. Distintas investigaciones han propuesto métodos de medición de carga de trabajo subjetivos, fisiológicos y de rendimiento para una aplicación condicionada por restricciones en la conducción (rendimiento o de comportamiento) o en el individuo (muestra sesgada). Estas restricciones dificultan la medición continua de la carga de trabajo y pone en duda la adaptación del método a una conducción "real". El método de medición de rendimiento de una tarea secundaria permite determinar la carga trabajo del conductor en una sección o un tramo de ruta restringiendo su rendimiento al óptimo. Así, el objetivo de esta tesis consiste en analizar la carga de trabajo obtenida de forma continua por el método de medición de tarea secundaria "operación matemática" respecto a los factores de demanda de la tarea: radio de curvatura, pendiente y velocidad de operación, aplicado bajo la restricción del método y en conjunto con el rendimiento en la conducción.

## 1.2 Hipótesis de trabajo

La “demanda de atención” detecta niveles de carga de trabajo estadísticamente diferentes entre las condiciones de rendimiento óptimo (restricción del método) y reducido en la conducción.

## 1.3 Objetivos

Analizar la carga de trabajo del individuo respecto a la demanda de la tarea exigida y su propio rendimiento al conducir, usando un simulador de conducción.

Los objetivos específicos asociados al objetivo general son:

- Diseñar un protocolo de experimentación para medir la carga de trabajo y el rendimiento en la conducción del individuo en el simulador de conducción.
- Determinar valores de carga de trabajo y desempeño en la conducción en una muestra de conductores.
- Analizar el comportamiento de la carga de trabajo y el desempeño en la conducción en función de los factores de la demanda de la tarea.

## 1.4 Metodología de trabajo

En primer lugar, se realizó una síntesis del estado del arte acerca del concepto y medición de la carga de trabajo en la conducción, identificando las variables explicativas y métodos de medición. Se identificó la relación teórica entre la carga de trabajo y el rendimiento en la conducción. Se definieron cuatro escenarios de simulación resultantes de la combinación de las variables pendiente y velocidad de operación, y así, estos escenarios fueron aplicados a las 13 secciones de estudio de la ruta interurbana del simulador de conducción. Para la medición, en

función de las condiciones experimentales y de la plataforma de simulación, se seleccionó la tarea secundaria “Demanda de atención” como indicador de la carga de trabajo y el error cuadrático medio del *steering* como indicador del rendimiento en la conducción. A través de pruebas piloto se generó un protocolo de experimentación detallando los procesos de registro, adaptación y medición del individuo.

Se elaboró y aplicó un experimento en un simulador de conducción con una muestra de 37 individuos, obteniendo 4.815 datos de carga de trabajo y rendimiento en la conducción. Posteriormente se aplicó un análisis de conglomerados para identificar las diferencias significativas entre los radios de curvatura del trazado geométrico virtual, y así, formar conjuntos de secciones para el estudio. Para el análisis de las variables de medición en función de los factores geométricos y de operación, se aplicó un análisis de varianza y una representación gráfica de la demanda de atención y del rendimiento en la conducción.

Posteriormente, para analizar la relación entre la carga de trabajo y el rendimiento en la conducción se definió la variable RC, el rendimiento en el control del vehículo en cada sección dependiente de la conducción óptima de cada individuo.. Así, finalmente se aplicó un análisis de varianza y de conglomerado de k-media a las variables de carga de trabajo y RC estableciendo la relación entre ellas bajo la condición de rendimiento óptimo y rendimiento reducido.

## 1.5 Organización de la tesis

La tesis está compuesta por cinco capítulos. El Capítulo 1 describe la motivación, los objetivos, la hipótesis, la metodología de experimentación y los principales resultados y conclusiones. El Capítulo 2 se discute el concepto de carga de trabajo en función de su definición, variables explicativas y métodos de medición. El Capítulo 3 presenta la metodología y el diseño experimental, identificando el equipamiento requerido para la aplicación, las especificaciones del trazado virtual, las variables de medición y el procedimiento general utilizado en el experimento. El Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos de los indicadores de carga de trabajo y rendimiento de la conducción en relación a los factores de la demanda de la tarea. Además, se analiza y discute la relación entre la demanda de atención y el rendimiento en la conducción bajo las situaciones de rendimiento óptimo y reducido. En el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y líneas de investigación futura.



## **CAPÍTULO 2 LA CARGA DE TRABAJO EN LA CONDUCCIÓN**

### **2.1 Introducción**

La carga de trabajo define la relación entre las capacidades del individuo y las exigencias a las que se exponen. Este capítulo presenta el concepto de la carga de trabajo del conductor a través de su relación con el desempeño en la conducción. Se describen los factores del conductor y de la tarea que producen la variabilidad en la carga de trabajo. Y por último se presentan las tres categorías de medición de carga de trabajo con las metodologías más utilizadas, sus ventajas y desventajas, profundizando en la tarea secundaria como método de esta investigación.



### **2.2 La carga de trabajo de un conductor**

La carga de trabajo (WL) se define como la proporción de la capacidad mental requerida para ejecutar una tarea, o como la medida del esfuerzo aplicado por un operador humano al realizar una cierta tarea, independientemente de su calidad (Senders, 1967). Es una resultante entre la demanda exigida por la tarea y el rendimiento obtenido debido a esta. Wickens (2002) define la WL como la diferencia entre las demandas cognitivas de la tarea (complejidad para desarrollar una 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 del conductor como muestra la Figura 2.1. Existe un rango de la demanda de la tarea en que la WL es mínima y, fuera de ese rango, máxima. Cuando la carga de trabajo es mínima, el desempeño durante la conducción es máximo y viceversa. Un mínimo desempeño por una carga de trabajo exigida, puede resultar en un accidente.

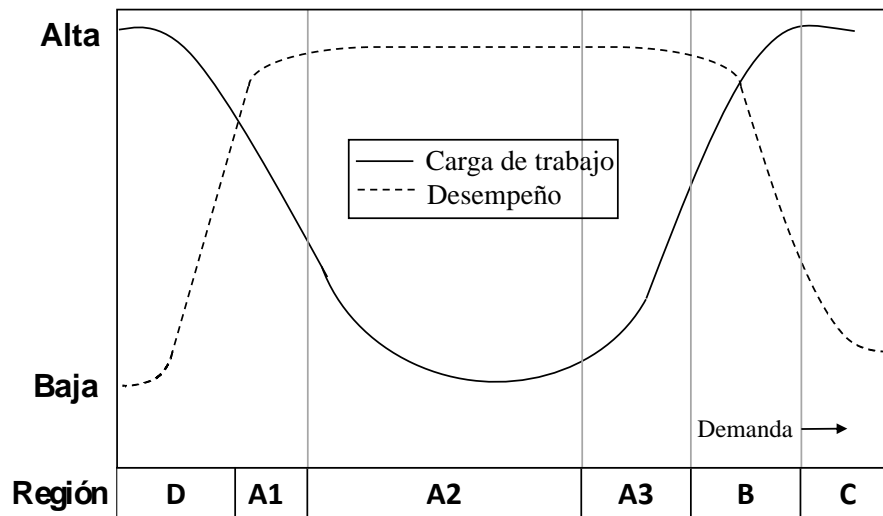


Figura 2.1 Relación entre la carga de trabajo, la demanda de la tarea de conducción y el desempeño del conductor (De Waard, 1996)

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 2.1). El menor desempeño se alcanza cuando el diseño exige una baja demanda (Zona D) o una excesiva demanda de conducción (Zona C). La zona D, es la “zona de desactivación”. Ocurre en tramos de carreteras rectos que inducen distracción y/o somnolencia. La zona C, es la “zona de sobrecarga”. Es típico 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 que incrementa la cantidad de información a procesar llevando al conductor a disminuir de manera consciente su rendimiento (Pashler, 1994; Meyer y Kieras, 1997; Luck y Vecera, 2002; Navon y Miller, 2002). Por lo tanto, el riesgo de accidentes se acrecienta en las zonas C y D, y disminuye en las zonas A1, A2 y A3. El riesgo de accidentes posee un patrón de comportamiento similar al de WL. Ambas variables se pueden correlacionar para una demanda de tarea determinada. Esta es una de las razones esgrimidas por Messer (1980) para argumentar que los diseños geométricos inconsistentes aumentan el riesgo de accidentes.

El comportamiento de la curva WL descrita por De Waard (1996) depende de la capacidad de los conductores y de la demanda exigida por la tarea de conducción. De Waard (2002) explica que la variabilidad en las capacidades de los 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, por lo que las capacidades varían de un individuo a otro dependiendo de sus habilidades cognitivas y su nivel de atención (Shinar, 1993).

La reducida experiencia de los conductores novatos resulta en una alta WL e ineficiencia en la percepción del riesgo y control del vehículo (Crundall *et al.*, 1999; Drummond, 1989; Falkmer y Gregersen, 2005; Lee, 2007; McKnight y McKnight, 2003; Pradhan *et al.*, 2005, Vlakveld, 2011). Asimismo, los conductores expertos tienden a no respetar las medidas de control de tráfico (McGwin y Brown, 1999), presentando dificultad al adaptar su modo de conducir a situaciones complejas de tráfico (Mayhew *et al.*, 2006).

La representación de las exigencias en la conducción para un individuo se conoce como demanda de la tarea de conducción (TD), esta 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) y terciarias de conducción (uso de sistemas de entretenimiento, comer y beber, uso de teléfono móvil) (Naing *et al.*, 2007). Igualmente se puede utilizar para identificar patrones de comportamientos en la conducción que reflejan a un conjunto de individuos en particular (Elander *et al.*, 1993). La demanda externa se origina en el procesamiento de información, la mantención del control, 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).



### 2.3 Medición de la carga de trabajo

La medición de la carga de trabajo contempla dos tareas: (a) determinar el valor de la WL exigida en un ambiente controlado (simulador de conducción) o no controlado (terreno), e (b) identificar las variables que explican la WL.

La medición de la WL en conductores se agrupa en tres categorías (De Waard, 1996): (a) medición subjetiva; (b) mediciones fisiológicas; y (c), medición de rendimiento durante la tarea de conducción. La medición subjetiva se realiza mediante métodos multidimensionales como SWAT (técnica subjetiva de evaluación de carga de trabajo) de Reid *et al.* (1981, 1982) o el método NASA TLX (Índice de carga de tarea), de Hart y Staveland (1988). Los métodos son de fácil aplicación, ya que no requieren de una habilidad técnica especial, pero su confiabilidad como indicadores de WL ha sido cuestionada en relación a la subjetividad de la opinión de cada individuo y su variabilidad dependiendo del momento de respuesta del cuestionario (Hao *et al.*, 2007).

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), de actividad cerebral (Gevin y Smith 2003; Holm *et al.*, 2009; Borghini *et al.*, 2011). Las mediciones fisiológicas corresponden a las técnicas más sofisticadas y completas actualmente disponibles. La electroencefalografía ha sido demostrada sensible a fluctuaciones en el nivel de atención y su capacidad para detectar reducciones de rendimiento producto de la WL (Matousek y Petersen, 1983), pero su aplicación es considerada intrusiva, requiere de una extensa investigación, habilidades técnicas y un alto consumo de tiempo.

La medición de rendimiento se realiza a partir de la velocidad, trayectoria lineal y la incorporación de una tarea secundaria (Senders, 1967). El comportamiento en la tarea primaria de conducción es un indicador de rendimiento, que permite medir el efecto de distintos niveles de WL en la conducción. Algunos métodos utilizados son el control lineal del vehículo y el cumplimiento de velocidades de operación exigidas. (Chiang *et al.*, 2004; Noy *et al.*, 2004; Wittmann *et al.*, 2006). Este método puede ser utilizado bajo una condición exigida dentro de una sección, como circular a una velocidad particular o restringiendo sus desplazamientos laterales lo que dificulta su aplicación en situación de conducción normal y continua.

La tarea secundaria se utiliza para medir, describir o caracterizar al operador determinando “cuánto trabajo adicional el operador puede sobrellevar mientras realiza la tarea primaria cumpliendo los requerimientos del sistema (Knowles, 1963). El cumplir los requerimientos del sistema considera el rendimiento óptimo en la conducción bajo la condición de accidente. Aun así, el espacio entre un rendimiento óptimo y límite (accidente) no ha sido abarcado en la aplicación del método, obteniendo la WL exigida por la tarea a través de las reducciones de rendimiento tanto en la tarea primaria de conducción como en la tarea secundaria.. Esto quiere decir, que hasta ahora el método encuentra limitada su aplicación a condiciones controladas sin abarcar la situación real y continua de conducción.

Algunas de las tareas secundarias utilizadas en el estudio de la WL son: detección de dígitos (Brown y Poulton, 1961), repetición de dígitos (Wierwille *et al.*, 1977), seguimiento de una secuencia (Brown 1965), detección de un doble estímulo (Brown, 1965) y el monitoreo de tráfico mediante los espejos (Wagner *et al.*, 1997). Verwey (2000) aplicó una adición como tarea secundaria detectando diferencias en la WL en grupos etarios de conductores. Detectó una reducción del rendimiento en el grupo etario adulto en contextos más complejos (intersecciones no controladas, maniobras de giro). Aun así, una operación aritmética no ha sido aplicada como método para cuantificar la demanda de atención exigida por la tarea de conducción dentro de un experimento en un simulador de conducción de forma continua.

## 2.4 Conclusiones

En este capítulo se presentó el concepto de carga de trabajo, los factores que lo componen y como se obtienen a través de métodos de medición y modelos existentes en la literatura.

La carga de trabajo es la proporción de capacidad mental que un individuo utiliza para desarrollar una tarea a partir de la diferencia entre las demandas cognitivas propias de la tarea y la capacidad atencional del conductor. Su estudio busca incluir el factor humano explícitamente en la modelación del nivel de seguridad de las carreteras.

La WL tiene un comportamiento inverso al desempeño en la conducción por parte del individuo. Este modelo identifica zonas de peligrosidad en la conducción representada por altas demandas en la ruta (geometría o ambiente de conducción) o por demandas deficientes que inducen la distracción y somnolencia.

El concepto de demanda de la tarea permite representar las exigencias a las que se expone cada individuo al conducir por una carretera, identificando los factores internos y externos que pueden ser cuantificables en el momento de modelar la carga de trabajo de un conductor.

Los métodos de medición de la WL se dividen en tres categorías: rendimiento, subjetivo y fisiológicas. Las ventajas y desventajas de cada método limitan su aplicación y sesgan los resultados a situaciones específicas de estudio. La tarea secundaria destaca por su fácil aplicación y la capacidad de medir continuamente en una situación controlada.

## **CAPÍTULO 3 DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se presenta el modelo experimental diseñado para la investigación, identificando las variables dependientes e independientes consideradas en el análisis. Con esto, se elaboró un procedimiento de experimentación aplicable a cada individuo de la muestra, incluyendo los métodos de medición, el equipamiento requerido y la descripción de las secciones de estudio de la ruta seleccionada.

### **3.2 Objetivo del experimento**

El objetivo del experimento fue analizar el comportamiento de la tarea secundaria de “Demanda de Atención” como método de medición de WL en función de los factores de la demanda de la tarea, bajo las condiciones de rendimiento en la conducción óptimo y reducido.

### **3.3 Modelo experimental**

La Figura 3.1 representa el modelo experimental utilizado en la investigación. Cada conductor de la muestra fue expuesto a 52 secciones que conforman el experimento, cada una de ellas es identificada por las características geométricas (radio de curvatura y pendiente longitudinal) y la velocidad de operación (libre o exigida) que definen la demanda de la tarea en el experimento. La medición de WL y rendimiento en la conducción se aplicó en cada sección a través de los métodos simultáneos: demanda de atención (DA), a través de la tarea secundaria de una operación matemática, y el error cuadrático medio de la posición del volante (RMSs). Con esto se conformó la base de datos de WL que permitió detectar patrones de comportamiento de cada indicador en relación a la demanda

de la tarea exigida por las secciones del experimento y así, se analizó el comportamiento del método DA bajo las condiciones de rendimiento óptimo y reducido.

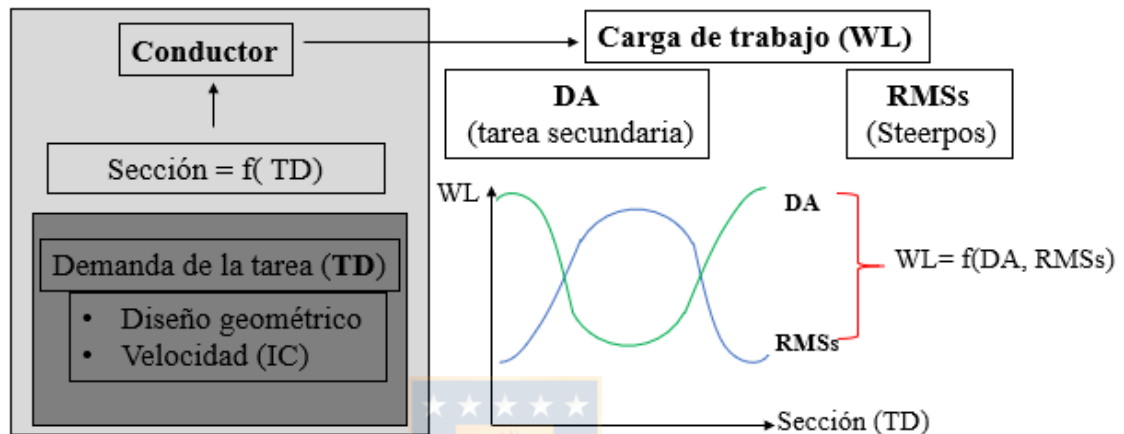


Figura 3.1 Variables dependiente e independientes del experimento

### 3.4 Variables de medición

Las variables de medición fueron la demanda de atención (DA) y el error cuadrático medio del *steering* (RMSs). La DA determina cuanto trabajo adicional (tarea secundaria) puede realizar el operador mientras ejecuta la tarea primaria de conducción. La tarea secundaria utilizada fue una operación matemática que consistió en una suma de dos números aleatorios con uno y dos dígitos. La medición requiere del rendimiento de la tarea secundaria en la condición de aplicación de forma exclusiva (situación de control), y cuando se aplica en conjunto con la tarea primaria. Así, la diferencia obtenida bajo las dos condiciones estima la WL impuesta por la tarea primaria. Por esto, se registró el tiempo de respuesta “Rsp” y “Rs” de cada conductor, correspondiente al tiempo individual de respuesta con y sin tarea de conducción, respectivamente y se calculó de DA

según la Ecuación 3.1 (Hicks y Wierwille, 1979). La DA es adimensional y varía entre 0 y 1, siendo 0 la menor WL y 1 la mayor.

$$DA_{s,j} = 100 \left( 1 - \frac{R_{sp}}{R_s} \right), \quad (3.1)$$

$DA_{s,j}$  = Demanda de atención exigida al conductor  $j$  por la sección  $s$ . (adimensional)

$R_{sp}$  = Tiempo de respuesta en la tarea secundaria del conductor  $j$  en la sección  $s$ . (segundos)

$R_s$  = Tiempo de respuesta del conductor  $j$  sin tarea de conducción. (Segundos)

El rendimiento en el control del vehículo permite medir la WL identificando incomodidad e inseguridad por parte del conductor en la ruta. Para cuantificar este rendimiento se ha considerado el error cuadrático medio (Ronen y Yair, 2013) como indicador de la variable posición del volante, que permite identificar en el conductor la capacidad de controlar el vehículo bajo la condición específica de la sección de ruta que está circulando. Esta variable se denominó "RMSs".

La posición del volante entregada por el software del simulador de conducción es una variable adimensional con una escala de -1 a 1, que indica el movimiento del volante realizado por el conductor con un eje vertical que diferencia los valores negativos como movimiento hacia la izquierda y positivos a la derecha. El cálculo del indicador se desarrolla según la Ecuación 3.2. El espacio de inferencia estimado de RMSs va entre 0 y 0,5 adimensional. Valores reducidos de RMSs indican un buen control del vehículo ejemplificando una conducción estable y consistente, e inversamente, valores altos en RMSs representan una pérdida de control del vehículo por parte del conductor (Chiang *et al.*, 2004; Noy *et al.*, 2004; Wittmann *et al.*, 2006).

$$\text{RMS } s,j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (3.2)$$

RMS<sub>s,j</sub> = Error cuadrático medio de la posición del volante del conductor j en la sección s

n = Número de datos de cada sección s

$X_i$  = posición del volante por segundo i en la sección s

$\bar{X}$  = Media de la posición del volante del individuo j en la sección s

Las variables geométricas del experimento corresponden al radio de curvatura y a la pendiente longitudinal de las secciones de estudio del circuito. La variable de velocidad de operación considerada como velocidad libre o velocidad exigida. La velocidad de operación corresponde a la velocidad instantánea elegida por el conductor para circular por cada sección de estudio. Para la situación de velocidad libre, a cada conductor se le permitió elegir “libremente”, bajo las condiciones de seguridad y comodidad la velocidad para circular cada sección, la situación de velocidad exigida consideró forzar un escenario de inconsistencia (IC) según la ecuación de Lamm *et al.* (2007), exigiendo al conductor obtener un IC en cada sección de -20 km/h, diferencia entre la velocidad de diseño ( $V_D$ , AASHTO, 2001) y la velocidad exigida. El experimento tuvo que forzar una situación de alta demanda ya que el simulador no presentaba escenarios de mayor complejidad.

### 3.5 Equipamiento

Para aplicar el experimento se utilizó un simulador de conducción de dos grados de libertad, que permite generar la sensación de aceleración, frenado y vibración. Posee un campo de visualización de 135° y cuenta con un software que permite registrar la velocidad, posición, cambios de marcha, presión de pedales, encendido de luces y colisiones.

Como instrumentación complementaria se utilizó una grabadora digital de sonido ubicada en la plataforma y el software *WavePad* v 8.14 en función del registro de la tarea secundaria. La grabadora permitió registrar cada sesión por individuo que fue procesada eliminando ruidos de tráfico y calculando tiempo de respuesta exacto por medio el software seleccionado.

### 3.6 Características del trazado virtual

Para el experimento se utilizó una ruta virtual interurbana (INT) de extensión 12 km que cuenta con una pista por sentido, 19 curvas horizontales con radios entre 30 y 400 m, rectas entre 25 y 1.000 m de extensión. El camino presenta pendientes longitudinales entre  $\pm 4\%$  y sobre  $\pm 12\%$ . Para el experimento se seleccionaron 13 secciones, identificadas como "SC-N°", en función de los siguientes criterios: (a) curva horizontal, (b) curva pavimentada, (c) proximidad a camino no pavimentado superior a 300 m y (d) proximidad a curva horizontal superior a 25 m.

Los criterios considerados buscaban reducir el sesgo producto de la carpeta del camino tanto en la velocidad de operación como en la medición de la WL. Las 13 secciones consideradas para el estudio y sus características se presentan en la Figura 3.2. La velocidad exigida (VE) de cada sección se obtuvo bajo la condición de  $IC < -20$  km/h, forzando un escenario de mayor demanda de la tarea. Se seleccionó VE por tramos para no forzar cambios muy bruscos de velocidad.



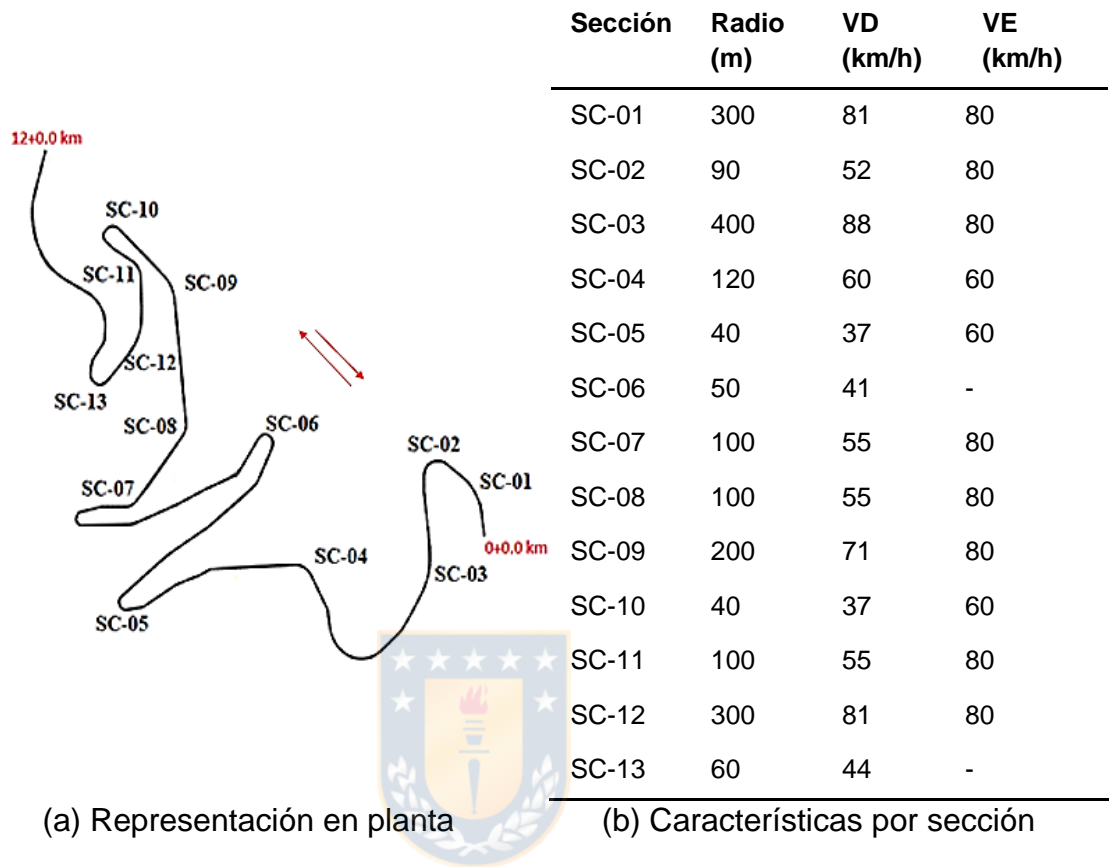


Figura 3.2 Secciones de estudio de la ruta INT

### 3.7 Procedimiento de experimentación

El experimento se desarrolló usando un protocolo de tres etapas: (a) registro del individuo, (b) adaptación al simulador, (c) simulaciones experimentales y (d) extracción de datos. Para caracterizar las capacidades del individuo se registró la edad, experiencia y género, mediante el software de registro del simulador. El protocolo aplicado se adjunta en el Anexo 3.1.


El experimento fue aplicado a 41 individuos, 26 hombres y 15 mujeres con licencia de conducir vigente. El rango etario de la muestra fue de 18 a 59 años, con media de 25 años y experiencia de conducción de uno a 35 años y una media de 6 años. Ninguno de los conductores recibió entrenamiento previo en un simulador de conducción. Para participar en el experimento cada individuo debió cumplir los siguientes requisitos: de 6 a 8 horas de sueño en la noche previa al experimento, no consumir cafeína 8 horas antes de la medición, no haber consumido medicamentos, alcohol, ni drogas previo al experimento y no estar en tratamiento médico con medicamentos que alteren el estado de alerta.

La etapa de adaptación al simulador de conducción consideró 15 minutos en una pista de prueba con exigencia de velocidad de (40 km/h y 60 km/h) y sin presencia de tráfico. El comportamiento del conductor fue monitoreado y controlado durante la prueba considerando al conductor apto o no apto para el desarrollo del experimento. El control del vehículo fue monitoreado instantáneamente al circular por las secciones de exigencia de velocidad, el cual, bajo el cumplimiento de la velocidad dispuesta, permitió considerar al conductor apto o no apto para el experimento.

Posterior a la adaptación al simulador de conducción, luego de un descanso de cinco minutos, cada conductor fue instruido en las simulaciones correspondientes al experimento. Las simulaciones de medición exponen a las 13 secciones de estudio de la ruta INT a cuatro escenarios de combinaciones de TD controladas por el experimento. Las variables explícitas de TD considerados fueron: el radio de curvatura, la pendiente longitudinal (positiva o negativa) y la velocidad de operación. En relación a la variable de velocidad de operación, se fabricó un escenario de consistencia “pobre” ( $IC < -20$  km/h), donde al conductor se le exigió circular a velocidades de operación superiores en 20 km/h a la  $V_D$  indicadas en la Figura 3.2(b).

La Tabla 3.1 presenta la combinación de TD de los cuatro escenarios con el específico orden y sentido de circulación en la ruta interurbana. La velocidad de operación del escenario “A” fue seleccionada por el conductor bajo la situación de comodidad y seguridad individual de cada uno frente a las 13 curvas horizontales con pendiente positiva. En el escenario “B” el conductor seleccionaba su velocidad bajo sus preferencias, considerando el recorrido de las curvas horizontales en pendiente negativa. En los escenarios “C” y “D” se le exigió al conductor sobrepasar los límites de seguridad en la velocidad de operación, bajo una condición de sobrecargar la tarea primaria, en pendiente positiva y negativa respectivamente.

Tabla 3.1 Escenarios del experimento y sus respectivas combinaciones de variables de TD



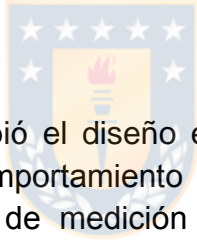
Escenario	A	B	C	D
Sentido de recorrido	↖ SC-01 → SC-13	↘ SC-13 → SC-01	↖ SC-01 → SC-13	↘ SC-13 → SC-01
Pendiente	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa
Velocidad	Real	Real	Exigida	Exigida

Cada una de las 13 secciones fue expuesta a los cuatro escenarios del experimento, formando 52 combinaciones de TD, es decir, cada conductor tuvo que enfrentar 52 secciones de estudio controladas en el experimento, más otras donde no se aplicó medición. . Para formar la base de datos del análisis se requería obtener en cada una de las 52 combinaciones: DA, RMSs y RC, correspondientes al conductor de la muestra ensayado. Para la base de datos,

se extrajeron los datos personales, auditivos (grabaciones de Rsp y Rs) y de conducción (velocidad instantánea y posición del volante) de cada individuo.

Para extraer los datos en cada combinación de TD se crearon ventanas espaciales y temporales correspondiente a cada sección, permitiendo, por una parte, extraer la velocidad instantánea y la posición del volante por segundo desde las telemetrías entregadas por el software del simulador para cada sesión (un conductor por la ruta completa), y por otro, obtener los tiempos de respuesta del conductor a la tarea secundaria en las secciones de estudio.

### 3.8 Conclusiones



En este capítulo, se describió el diseño experimental de la investigación con objetivo de analizar el comportamiento de la tarea secundaria “operación matemática” como método de medición de WL utilizando un simulador de conducción. Se incluyó el procedimiento para su aplicación identificando métodos de medición y cada sección de estudio.

El modelo experimental expone al conductor a diferentes combinaciones de demanda de tarea resultantes del diseño geométrico y la velocidad seleccionada por el conductor. Así, poner a prueba el método de medición de WL por tarea secundaria a una “medición continua” en la ruta de estudio sin situaciones controladas aisladas como normalmente se utiliza este método.

Los 41 individuos de la muestra cumplieron restricciones de horas de sueño y de salud, siendo una exigencia fundamental para un correcto rendimiento del conductor. Estas condiciones exigen al individuo un correcto estado de atención inicial para el experimento, y así, para la aplicación de ambas tareas cada conductor tiene un alto nivel en sus capacidades.

El trazado virtual del experimento permitió analizar 13 tipos de curvas horizontales, en un amplio rango de radio de curvatura. Seis de las curvas horizontales no fueron utilizadas debido a condiciones fuera del análisis del experimento. Aún así, el experimento permitió estudiar un amplio rango radial exponiendo a las 13 curvas a distintas combinaciones de demanda externa.

Los escenarios diseñados para el experimento combinan las condiciones de velocidad y pendiente. Las demandas externas exigidas buscan generar situaciones de alto riesgo al conductor, y detectar que combinación produce la mayor carga de trabajo del experimento.

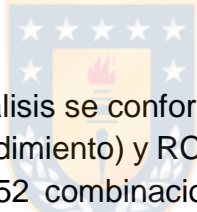


## **CAPÍTULO 4 MEDICIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO**

### **4.1 Introducción**

En este capítulo se describe la base de datos elaborada para el experimento, para luego identificar los resultados del análisis estadístico. Se propone un indicador de rendimiento y se analiza la relación entre la demanda de atención y el control del vehículo en función de las combinaciones de demanda de la tarea de conducción.

### **4.2 Base de datos**



La base de datos para el análisis se conformó con los datos de DA (medición de WL), RMSs (medición de rendimiento) y RC (indicador propuesto de rendimiento) de cada conductor, en las 52 combinaciones de TD del experimento. No se consideraron características del individuo para el análisis, debido a que no presentaron una variabilidad significativa en la muestra.

La eliminación de datos en una sección se realizó aplicando los siguientes criterios: (1) la ocurrencia de un accidente, (2) la interferencia en la comunicación entre el instructor y el individuo, (3) el conductor no recorrió la sección o (4) contingencias en la simulación. Con esto, se obtuvo un total de 4.815 datos, 1.605 datos de 37 individuos de muestra para cada variable de DA, RMSs y RC.

Para el análisis según método de medición se utilizaron los cuatro escenarios del experimento descritos en el Capítulo 3, con sus combinaciones de pendiente longitudinal y velocidad de operación.

Los radios de curvatura se agruparon mediante un análisis de conglomerados usando el algoritmo de K-medias con las tres variables dependientes. Se identificaron tres conjuntos de radios estadísticamente diferentes:  $R < 100$  m (SC-02, SC-05, SC-06, SC-10),  $100 \leq R < 200$  m (SC-04, SC-07, SC-08, SC-11) y  $R \geq 200$  m (SC-01, SC-03, SC-09, SC-12).

### 4.3 Demanda de atención

Los valores de DA variaron entre 0 y 0,96 (adimensional). No se obtuvo la máxima demanda de atención ( $DA = 1.0$ ). La DA se ajustó a una distribución normal, con media 0,46 y desviación estándar de 0,22. La representación gráfica de los resultados se muestra en la Figura 4.1, en términos de los tres grupos de radio de curvatura en los cuatro escenarios de TD del experimento: pendientes positiva(+) /negativa(-) y velocidad libre(A y B) /exigida (C y D).

Se observa que el método de medición DA identifica a las secciones del experimento de  $R < 100$  m como aquellas donde el conductor presentó mayor WL. La mediana de 0,5 implica que la configuración geométrica y el ambiente de conducción requirieron más del 50% de la atención del individuo en la tarea de conducir, fuera del rendimiento límite (accidente). Por otro lado, las secciones del experimento de radios superiores a 100 m, exigieron al conductor menos del 50% de su atención en la tarea de conducción, incluyendo los escenarios de velocidad exigida y pendiente longitudinal, identificando a las curvas de  $R > 100$  m con una demanda de atención intermedia que permiten una correcta conducción, pero que pueden llevar a distracción.

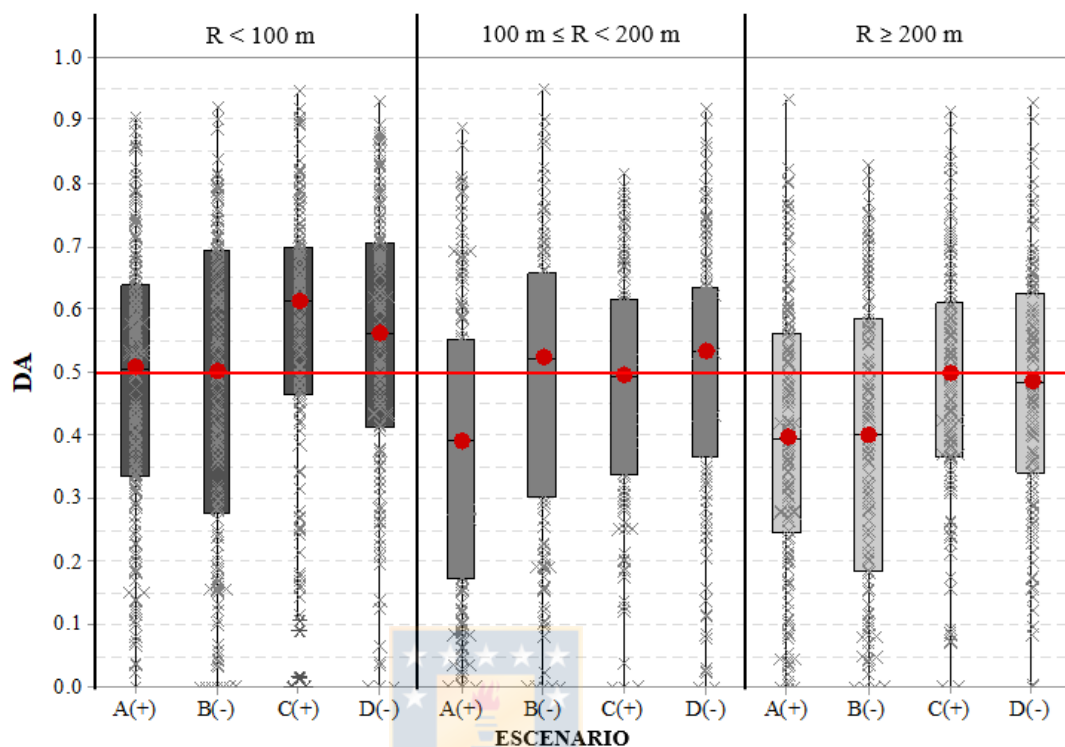


Figura 4.1 Demanda de atención por radio de curvatura y escenario del experimento

La combinación de TD:  $R < 100$  m, pendiente positiva y velocidad exigida superior a la de diseño (+20 km/h), se asumió como la condición de mayor DA. Se identificó como un escenario de alto riesgo al presentar media y mediana por sobre el 60% de DA y una reducida variabilidad entre los conductores de la muestra. La combinación de TD:  $R \geq 200$  m y velocidad libre fue registrada con menor WL según el método DA, representada con una media de 40% de DA.

Para analizar los patrones de DA observados en la Figura 4.1 se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). En la Tabla 4.1 se presentan los resultados. Las variables independientes radio de curvatura y velocidad de operación se identificaron como factores significativos en el modelo (valor  $p < 0,05$ ), siendo un factor determinante en la variación de la respuesta del conductor a las exigencias del experimento.



La pendiente longitudinal no presentó significancia en el modelo, puesto que no se obtuvieron diferencias significativas entre escenarios. A pesar de esto, la interacción entre el radio de curvatura y pendiente presentó significancia, explicando la variación en la respuesta DA para las distintas combinaciones de radios y pendiente.

Tabla 4.1 Análisis de varianza de las variables independientes del método DA

Variable	GL	Contribución	SC Ajustado	MC ajustado	Valor F	Valor P
Radio	2	2,11%	1,795	0,897	18,540	0,000
Pendiente	1	0,15%	0,086	0,086	1,780	0,182
Velocidad de operación	1	2,44%	2,036	2,036	42,050	0,000
Radio x pend.	2	0,63%	0,547	0,274	5,660	0,004
Radio x velocidad de operación	2	0,05%	0,038	0,019	0,390	0,675
Pend. x velocidad	1	0,08%	0,071	0,071	1,470	0,225
Error	1692	94,55%	82,350	0,048		
Falta de Ajuste	7	0,18%	0,810	0,115	2,390	0,020
Error Puro	1685	94,37%	81,540	0,048		
Total	1696	100,00%	86,405			

#### 4.4 Error cuadrático medio del *steering*

Los valores obtenidos de RMSs variaron entre 0 y 0,3. Los datos se ajustaron a una distribución log-normal con media 0,022 y desviación estándar 0,021. La representación gráfica de los resultados se muestra en la Figura 4.2, según el radio de curvatura y los cuatro escenarios considerados en el experimento: pendientes positiva(+) /negativa(-) y velocidad libre(A y B) /exigida (C y D).

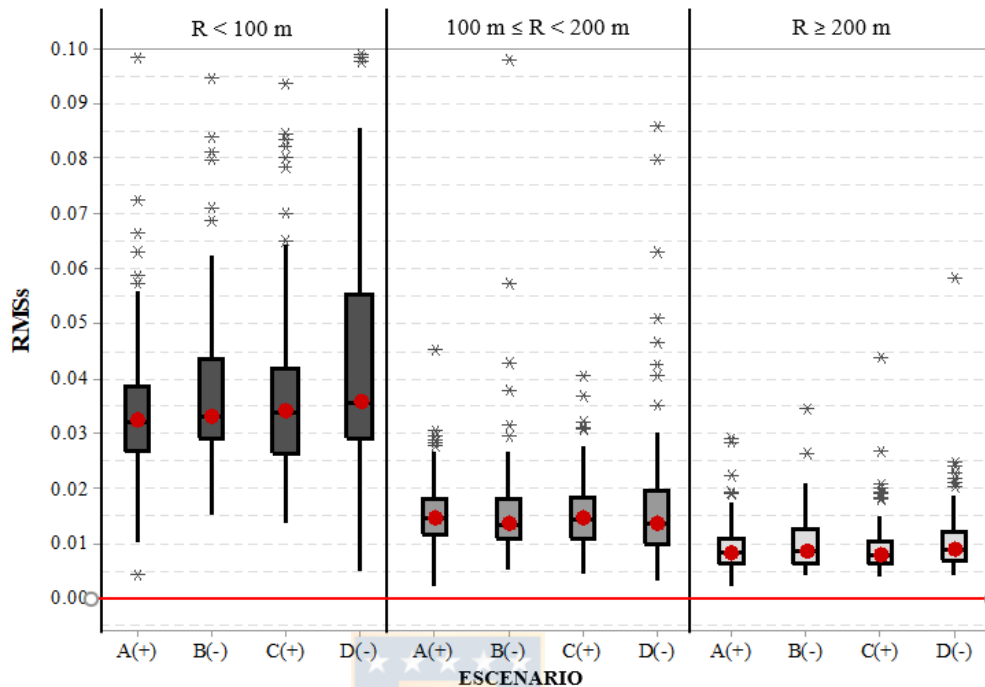


Figura 4.2 RMSs por radio de curvatura y escenario del experimento

Se puede observar que existen amplias diferencias en los valores de RMSs para las tres categorías de radio de curvatura. Un valor de RMSs = 0, representa un perfecto control del vehículo y un nivel de WL acorde a la comodidad del conductor, es decir, el conductor no tuvo movimientos bruscos del volante producto de la ruta. Un valor de RMSs máximo, más cercano a uno, representa una pérdida de control del vehículo, con movimientos bruscos del volante, demostrando una inestabilidad e incomodidad por parte del conductor en la sección de ruta que circula. Se identificó que en las secciones de  $R \geq 200$  m los conductores tuvieron el mayor rendimiento en el control del vehículo, con una media de RMSs= 0,008 y la menor variabilidad entre los conductores de todo el experimento.

Las secciones de radio menor a 100 m se identificaron con el rendimiento más pobre (RMSs más cercano a 1) y la mayor variabilidad entre los conductores en cada escenario. Esta observación refleja la incomodidad experimentada por el

conductor al tener dificultades para controlar la dirección del vehículo. Por otro lado, la pendiente longitudinal negativa al estar a favor de la dirección del movimiento produjo un aumento en la velocidad del vehículo, aumentando así, la demanda de atención del individuo por concepto de control de velocidad. La reducción de la capacidad de atención del individuo producto de la velocidad reflejó una reducción considerable en el control del vehículo (RMSs).

Para detectar los patrones de comportamiento del RMSs se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) respecto de los factores de demanda de la tarea. Los resultados se muestran en la Tabla 4.2. Se detectó significancia en el radio de curvatura, pendiente y velocidad de operación del experimento (valor  $p < 0,05$ ). El control del vehículo por parte de cada conductor se vio afectado al cambio de cada una de estas variables, conllevando a movimientos bruscos o amplias variaciones en su comportamiento representados en los valores de RMSs obtenidos en cada secciones de estudio.



Tabla 4.2 Análisis de varianza para variables independientes del método RMSs

Variable	GL	Contribución	SC Ajustado	MC ajustado	Valor F	Valor P
Radio	2	34,11%	0,296	0,148	484,16	0,000
Pendiente	1	1,10%	0,007	0,007	25,010	0,000
Velocidad de operación	1	0,23%	0,001	0,001	4,890	0,027
Radio x pend.	2	0,60%	0,004	0,002	7,660	0,000
Radio x velocidad	2	0,42%	0,003	0,001	5,810	0,003
Pend. x velocidad	1	0,03%	0,000	0,000	0,790	0,376
Error	1766	63,51%	0,541	0,000		
Falta de Ajuste	2	0,07%	0,000	0,000	1,000	0,370
Error Puro	1764	63,44%	0,540	0,000		
Total	1775	100,00%				

Se concluyó que RMSs es sensible a la geometría y la velocidad de operación. A partir del análisis de interacción entre factores se detectó significancia en las combinaciones de radio con pendiente y velocidad. A pesar de lo anterior, el radio de curvatura es el mayor determinante del rendimiento en el control del vehículo, por sobre las otras variables analizadas.

#### **4.5 Relación entre la demanda de atención y el rendimiento en la conducción**

Como las mediciones de DA y RMSs fueron simultáneas en el experimento, la WL real experimentada por cada conductor es la resultante entre la atención exigida por la conducción y el rendimiento obtenido en ella. En base a esto, se espera que cuando las exigencias de la ruta y el ambiente de conducción sean excesivas, exista un bajo rendimiento de la tarea primaria y secundaria. Por el contrario, cuando la demanda sea menos exigente, permitirá al conductor rendir de mejor manera en la conducción, y la exigencia se verá reflejada en la DA.

Por lo anterior, se reformuló el índice de cálculo del rendimiento en la conducción. Para ello se elaboró la variable "RC" que permite diferenciar el rendimiento entre los conductores y las demandas de tarea presentes en el experimento. RC queda definida como la diferencia entre RMSs en situación de comodidad y seguridad (RMSs\*), y RMSs obtenido en las secciones de estudio fuera del escenario de comodidad. El RMSs\* se obtuvo para los tres conjuntos de radios en el escenario A(+) bajo las condiciones de: velocidad libre, sin tráfico en la pista de circulación, cambio de pista restringido y sin distracciones auditivas ni visuales externas. Además, se le exigió al conductor circular por la pista dentro de su propia percepción de seguridad y comodidad.

Para calcular RC se propuso la Ecuación 4.1. RC entrega valores adimensionales de rendimiento, representando el control del vehículo en un espacio de inferencia estimado entre 0 y - 1.

$$RC = \left(1 - \frac{RMSs}{RMSs^*}\right), \quad (4.1)$$

Preliminarmente se consideraron dos niveles de la variable RC:

- a)  $RC \geq 0$ , correspondiendo al rendimiento óptimo. Los valores de RC mayores o iguales a 0 identifican un correcto control del vehículo, siendo así que las condiciones de la ruta y ambiente de conducción se encuentran en una zona de comodidad y seguridad para el conductor que le permiten controlar el desplazamiento del vehículo sin dificultad.
- b)  $RC < 0$ , correspondiendo al rendimiento pobre. Los valores de RC inferiores a 0 representan dificultades en el control del vehículo de parte del conductor, siendo así que las condiciones de la ruta y ambiente de conducción no le permiten desplazarse por la sección de forma cómoda y segura.

Se observó que la condición de velocidad libre y pendiente positiva permitieron al conductor mantener su comportamiento dentro de los márgenes de rendimiento óptimo. Por el contrario, la exigencia de velocidad y la pendiente negativa redujeron la capacidad del individuo para controlar el vehículo, alejándolo del rendimiento óptimo.

La DA obtenida para ambos niveles de rendimiento se muestra en la Figura 4.3. El 51% de los valores de DA correspondieron a un rendimiento óptimo ( $RC \geq 0$ ), variando entre 0 y 0,95 con una mediana de 0,50. Bajo el rendimiento reducido ( $RC < 0$ ), DA tuvo un comportamiento similar. Se obtuvo una mediana de 0,51 dentro del mismo espacio de inferencia. Ambas distribuciones presentaron una asimetría negativa, concentrando los valores de DA en un rango de 0,45-0,75 para las combinaciones de TD del experimento. En términos generales, utilizando los parámetros preliminares de rendimiento óptimo y reducido, las distribuciones

de valores de DA fueron estadísticamente iguales al no identificar diferencias significativas entre un rendimiento óptimo y uno reducido.

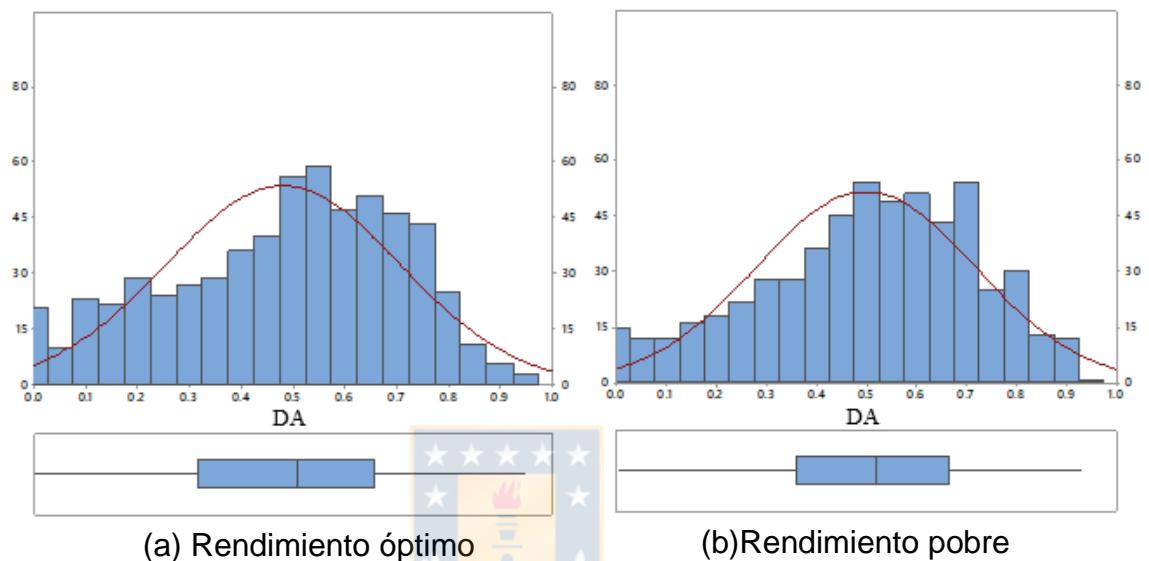


Figura 4.3 Gráfica de frecuencia de DA

Posteriormente, se aplicó un análisis de conglomerados usando el algoritmo de K-medias a las variables DA y RC, con el fin de identificar los márgenes de rendimiento y demanda de atención óptimos. Se obtuvieron los 4 conglomerados que se representan en la Figura 4.4. Los conglomerados N°1 y 3 fueron identificados con el mayor rendimiento en el control del vehículo. El conglomerado N°1 concentró el 50% de la base de datos, presentando un rendimiento de  $-0,27 < RC < 0,80$  y una demanda de  $0,25 < DA < 0,95$ . Bajo este conglomerado la conducción demandó un alto porcentaje de la atención del conductor, aún así, a pesar de la alta exigencia, el conductor logró mantener un control del vehículo óptimo. El conglomerado N°3 presentó un rendimiento de  $-0,30 < RC < 0,72$  y una demanda de  $0,0 < DA < 0,43$ . Bajo este conglomerado las secciones de estudio demandaron un bajo porcentaje de atención del conductor facilitándole mantener el control del vehículo en el margen óptimo. Utilizando los conglomerados de mayor rendimiento se replanteó el margen de rendimiento óptimo bajo  $RC \geq -0,27$ .

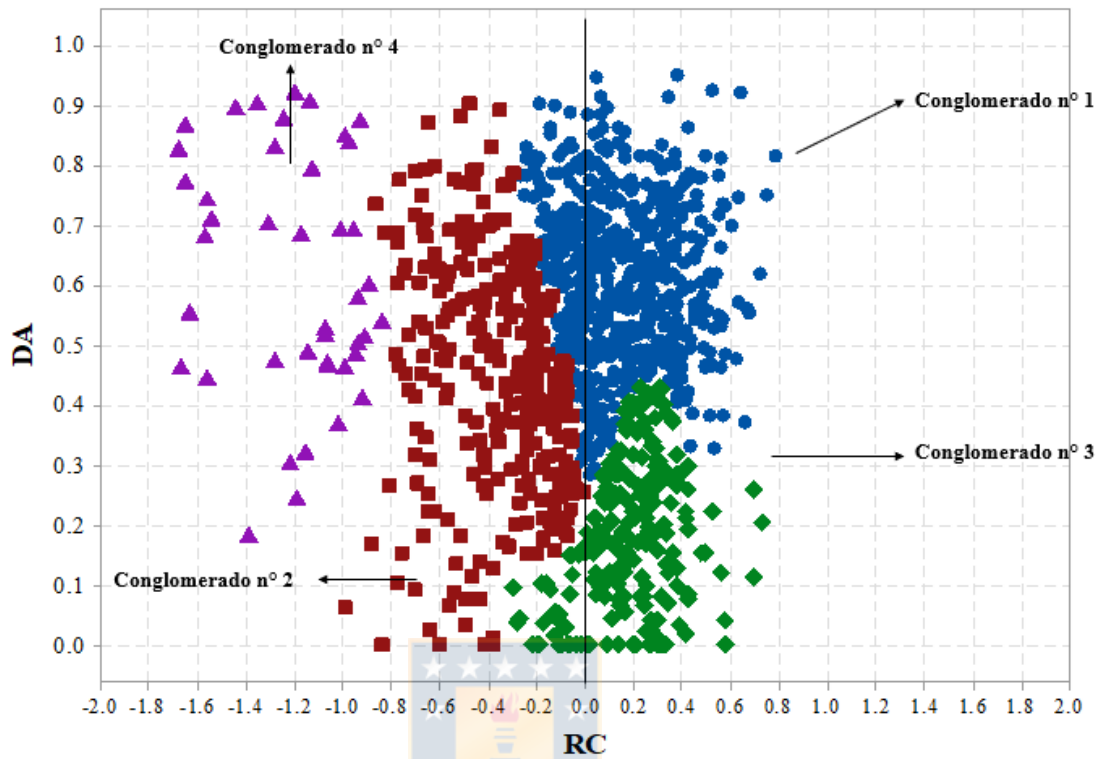


Figura 4.4 Gráfica de conglomerados de DA y RC

Los conglomerados N°2 y 4 fueron identificados con el menor rendimiento en el control del vehículo. El conglomerado N°2 presentó un rendimiento de  $-1,0 < RC < -0,01$ , de media  $-0,36$ , y una demanda de  $0,0 < DA < 0,90$ , de media  $0,5$ . Bajo este conglomerado las exigencias de la ruta de estudio afectaron el rendimiento del conductor en la tarea primaria y secundaria del experimento. Observándose que toda demanda de atención en la conducción obtenida en el conglomerado conllevó a una reducción de rendimiento en el control del vehículo, representando así, al conductor con prioridad por la tarea secundaria por sobre su comportamiento en el simulador de conducción. El conglomerado N°4 presentó un rendimiento de  $-1,6 < RC < -0,8$  y una demanda de  $0,15 < DA < 0,93$ . En este conglomerado La TD exigida en el experimento sobrepasa las capacidades del conductor llevándolo a la pérdida de control de la dirección del vehículo y a un pobre rendimiento en la tarea secundaria. Esta situación se observó en las secciones de estudio bajo las condiciones de:  $R < 100m$ , velocidad exigida y pendiente positiva.

## 4.6 Conclusiones

Se obtuvo una base de datos con 4.815 datos de DA, RMSs y RC en las 52 combinaciones de demanda de la tarea consideradas en el experimento. Estos datos permitieron analizar el comportamiento de las variables dependientes en función de las independientes a través de análisis estadísticos y gráficos desarrollados en el capítulo.

El método de medición de WL, DA, permitió detectar valores extremos en la demanda de la tarea exigida del experimento. Se identificaron diferencias significativas en el valor de DA producto del radio de curvatura y la velocidad de operación. El método detectó una diferencia en la carga de trabajo de un 20% entre las secciones más exigidas ( $R < 100\text{m}$  en velocidad exigida) y las con menor exigencia ( $R \geq 200\text{m}$  en velocidad libre).

El error cuadrático medio del movimiento del manubrio (RMSs) representa el comportamiento del conductor en relación al control del vehículo. Las variables de la demanda de la tarea: radio de curvatura, pendiente longitudinal y velocidad de operación fueron significativas en el RMSs obtenido en el experimento. Por lo que las variables geométricas y de velocidad afectan la capacidad del conductor para controlar efectivamente el vehículo. El método detectó la combinación de TD:  $R < 100\text{m}$  y pendiente negativa, como la condición que redujo ampliamente el control del vehículo por parte de cada conductor.

Utilizando la base de datos de DA y RC independientes a las variables geométricas y de velocidad del experimento, se logró identificar cuatro comportamientos estadísticamente diferentes de la DA y la variable RC.



Esto permitió replantear el margen del rendimiento óptimo en  $RC \geq -0,27$  y además, identificar 4 zonas de DA y RC donde el comportamiento del conductor en la tarea primaria y secundaria se caracterizan diferentes entre sí.

Aplicar el método de tarea secundaria de “demanda de atención” bajo la condición de rendimiento en la conducción óptimo detectó dos situaciones de WL, baja y alta. Igualmente, bajo rendimiento reducido se obtuvo dos conjuntos estadísticamente diferentes, diferenciando un correcto rendimiento y una baja demanda de atención, con una alta demanda y un bajo rendimiento. Esto quiere decir, que el método de tarea secundaria no tiene limitado su aplicación bajo un rendimiento óptimo, sino que puede ser aplicado bajo una condición de rendimiento real en la conducción.



## CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El propósito de este trabajo fue analizar el comportamiento de la tarea secundaria de “operación matemática” como método de medición de WL en un experimento virtual, en relación a la demanda de la tarea externa (radio de curvatura, pendiente longitudinal y velocidad de operación) y su relación con el rendimiento en el control del vehículo. A partir de este análisis, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

La carga de trabajo es la porción de capacidad mental que exige la conducción al individuo, y además como éste rinde en la conducción producto de la exigencia. El análisis de este concepto busca incluir el factor humano en la modelación del nivel de seguridad que entrega la ruta.

La carga de trabajo depende de la demanda de la tarea externa relacionada con la seguridad vial, como la configuración geométrica y el ambiente de conducción, además de las características que definen el comportamiento de un individuo al conducir. Por esto, se deben diseñar experimentos controlados en plataformas virtuales o en terreno, donde se mida la carga de trabajo adecuadamente, incluyendo las variables independientes de la ruta y del individuo.

Del diseño del experimento se obtuvo un protocolo de cuatro etapas que guían el procedimiento de registro, adaptación y medición de cada conductor. Este protocolo permitió medir la carga de trabajo en 52 secciones resultante de las combinaciones de radio de curvatura, pendiente longitudinal y velocidad de operación (libre o exigida) presentes en la ruta interurbana virtualizada en el simulador de conducción.

El método de medición DA, sin considerar el rendimiento, permitió detectar extremos en la demanda de la tarea exigida del experimento, reflejado en la diferencia por sobre el 20% de demanda entre el escenario de mayor exigencia ( $R < 100\text{m}$  en velocidad exigida) y de menor ( $R \geq 200\text{m}$  en velocidad libre). El RMS del control del vehículo permitió representar el comportamiento del conductor en un simulador de conducción de forma más exacta. Diferenció el comportamiento de cada individuo, identificando similitudes en los rendimientos óptimos por radio de curvatura. Esto permitió plantear la variable de rendimiento individual RC de cada conductor diferenciada por los conjuntos de radios de curvatura, y analizar el control del vehículo de forma comparativa.

La reagrupación de los datos de DA y RC identificó cuatro comportamientos estadísticamente diferentes de ambas variables. El rendimiento óptimo quedó limitado por  $RC \geq -0,27$ . Bajo este rendimiento óptimo el método DA detectó dos conglomerados estadísticamente diferentes, considerando una alta WL el conglomerado N°1 y de baja WL el conglomerado N°3. Por otro lado, se definieron los márgenes de la zona de alta WL en un  $RC < -1,0$  y  $DA > 0,6$ . Esto quiere decir, que el método DA se puede aplicar sin exigir un rendimiento óptimo al conductor, bajo una condición de conducción no limitada, si es posible medir el rendimiento en el control del vehículo.

La medición de carga de trabajo DA bajo la condición de rendimiento óptimo en la conducción identificó las situaciones de alta y baja carga de trabajo. Así mismo, cuando al conductor se le permitió disminuir su rendimiento en la conducción en el transcurso de la medición de carga de trabajo, se obtuvo dos conjuntos estadísticamente diferentes, uno representado por un correcto rendimiento y una baja demanda de atención, y el segundo identificado con una alta demanda y un bajo rendimiento. Esto quiere decir, que el método de tarea secundaria no sólo puede aplicarse bajo un rendimiento óptimo, sino que también bajo una condición de rendimiento real en la conducción, ya que ambas condiciones permiten identificar las zonas de carga de trabajo alta.

Las líneas de investigación futuras son las siguientes:

- perfeccionar el rendimiento óptimo en el control del vehículo a través de una mayor cantidad de ensayos, permitirá obtener un valor de RC más adecuada al comportamiento individual de cada conductor y márgenes de rendimiento óptimo más exactos.
- Incluir en el análisis las variables del individuo como edad, experiencia, estilo de conducción, entre otras, permitirá detectar comportamientos similares entre conjunto.
- Igualmente, un tamaño muestral superior de secciones tanto curvas como rectas permite detectar zonas de desactivación y sobrecarga.



## REFERENCIAS

AASHTO (2018). **A Policy on Geometric Design of Highway and Streets**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Estados Unidos.

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., de Vries, G., y de Waard, Dick (1991). The effects of mobile telephoning on driving performance. **Accident Analysis and Prevention**, **23(4)**. 309–316.

Brown, I. D. y Poulton, E. C. (1961). Measuring the spare 'mental capacity' of car drivers by a subsidiary auditory task, **Ergonomics**, **21**. 221 – 224.

Brown, L. D. (1965). A comparison of two subsidiary tasks used to measure fatigue in car drivers, **Ergonomics**, **8**. 467 – 473.

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.

Chiang, D.P., Brooks, A.M. y Weir, D.H. (2004). On the highway measures of driver glance behavior with an example automobile navigation system. **Appl. Ergon.** **35**. 215–223.

Crundall, D., Bains, M., Chapman, P., & Underwood, G. (2005). Regulating conversation during driving: A problem for mobile telephones? **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, **8(3)**. 197–211.

De Waard, D (1996). **The Measurement of Drivers' Mental Workload**. Traffic Research Center VSC. Haren.

De Waard, D. (2002). Mental Workload. En R. Fuller y J.A. Santos (eds.). **Human Factors for Highway Engineers**. Pergamon. Amsterdam.

Drummond, A. E. (1989). An overview of novice driver performance issues. **A literature review (Report no. 9)**. Clayton, Australia: Monash University, Accident Research Centre.

Falkmer, T. y Gregersen, N. P. (2005). A comparison of eye movement behavior of inexperienced and experienced drivers in real traffic environments. **Optometry & Vision Science**, **82**. 732–739.

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.

Gevins, A. y M.E. Smith (2003). Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction. **Theoretical Issues in Ergonomic Sciences**, **40 (1)**. 79-91.

Hancock, P.A., Wulf, G., Thom, D. y Fassnacht, P. (1990). Driver workload during differing driving maneuvers. **Accident Analysis and Prevention** **22 (3)**. 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*. Heidelberg: 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.

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.

Knowles W.B. (1963). Operator loading tasks. **Human factors, 5 (2)**. 155-161.

Lamm, R., A. Beck, T. Ruscher, T. Mailänder, S. Cafiso, G. La Cava (2007). How To Make 10 Two-Lane Rural Roads Safer: Scientific Background and Guide for Practical Application. **WIT Press, 11**.

Lee, J. D. (2007). Technology and teen drivers. **Journal of Safety Research, 38**. 203–213.

Matousek, M.I. y Petersen, A. (1983). A method for assessing alertness fluctuations from EEG spectra. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, **55**. 108-113.

Mayhew, D.R., Simpson, H.M., Ferguson, S.A. (2006). Collisions involving senior drivers: high-risk conditions and locations. **Traffic Injury Prevention**, **7 (2)**. 117–124.

McKnight, A. J. y McKnight, A. S. (2003). Young novice drivers: Careless or clueless? **Accident Analysis and Prevention**, **35**. 921–925.

Meijman, T. F y O'Hanlon, J. F. (1984). Workload. An introduction to psychological theories and measurement methods. **Handbook of Work and Organizational Psychology**. 257-288.

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., S. Bayer, P. Van Elslande y F. Fouquet (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**.

Navon, D. y J. Miller (2002). Queuing or Sharing? A critical evaluation of the single-bottleneck notion. **Cognitive Psychology**, **44(3)**. 193-251.



Noy, Y.I., Lemoine, T.L., Klachan, C. y Burns, P.C. (2004). Task interruptability and duration as measures of visual distraction. **Appl. Ergon.** **35**. 207–213.

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

Patten, C.J., Kircher, A., Ostlund, J., Nilsson, L. y Svenson, O. (2006). Driver experience and cognitive workload in different traffic environments. **Accident Analysis and Prevention** **38** (5). 887–894.

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.

Pradhan, A. J., Hammel, K. R., DeRamus, R., Pollatsek, A., Noyce, D. A. y Fisher, D. L. (2005). Using eye movements to evaluate effects of driver age on risk perception in a driving simulator. **Human Factors**, **47**. 840–852.

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.

Ronen, A., y Yair, N. (2013). The adaptation period to a driving simulator. **Transportation Research Part F: traffic psychology and behaviour**, **18**. 94-106.

Roscoe, A. H. (1992). Assessing pilot workload. 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.

Shinar, D. (1993). Traffic safety and individual differences in drivers' attention and information processing capacity. **Alcohol, Drugs and Driving**, **9(3-4)**. 219-237.

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.

Verwey, W. (2000). On-line driver workload estimation. Effects of road situation and age on secondary task measures. **Ergonomics** **43 (2)**. 187–209.

Vlakveld, W.P. (2011). **Hazard anticipation of young novice drivers**. PhD Thesis, University of Groningen. SWOV dissertation series. Leidschendam, The Netherlands: SWOV Institute for Road Safety Research.

Wagner, D., Vercruyssen, M. y Hancock, P. A. (1997). A computer-based methodology for evaluating the content of variable message signage, **ITS Journal**, **3(4)**. 535 – 373.

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

Wierwille, W. W. y Gutman, J. C. (1977). Secondary task measurement of workload as a function of simulated vehicle dynamics and driving conditions, **Human Factors**, **19(6)**. 557 – 565.

Wittmann, M., Kiss, M., Gugg, P., Steffen, A., Fink, M., Poßpel, E. y Kamiya, H. (2006). Effects of display location of a visual in-vehicle task on simulated driving. **Appl. Ergon.** **37**. 187–199.

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.



## ANEXOS

### ANEXO 3.1 Protocolo de utilización del simulador de conducción del laboratorio GESITRAN

#### 1. Descripción general del procedimiento de uso

Las etapas de ejecución de un experimento con el simulador de conducción se dividen en dos: una previa al día del experimento (Ver Figura A.3.1) y el experimento mismo (Ver Figura A.3.2). Cada una de ellas contiene actividades que deben realizarse secuencialmente.

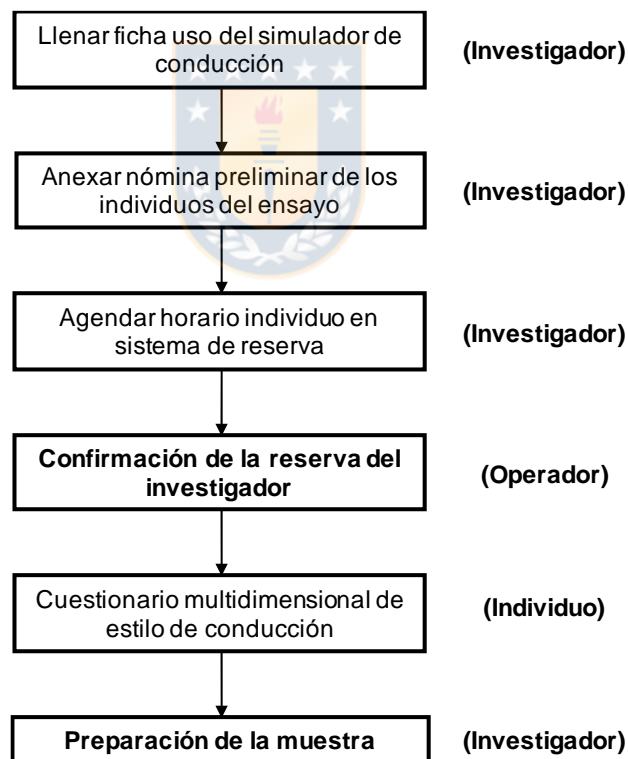


Figura A.3.1 Procedimientos previos

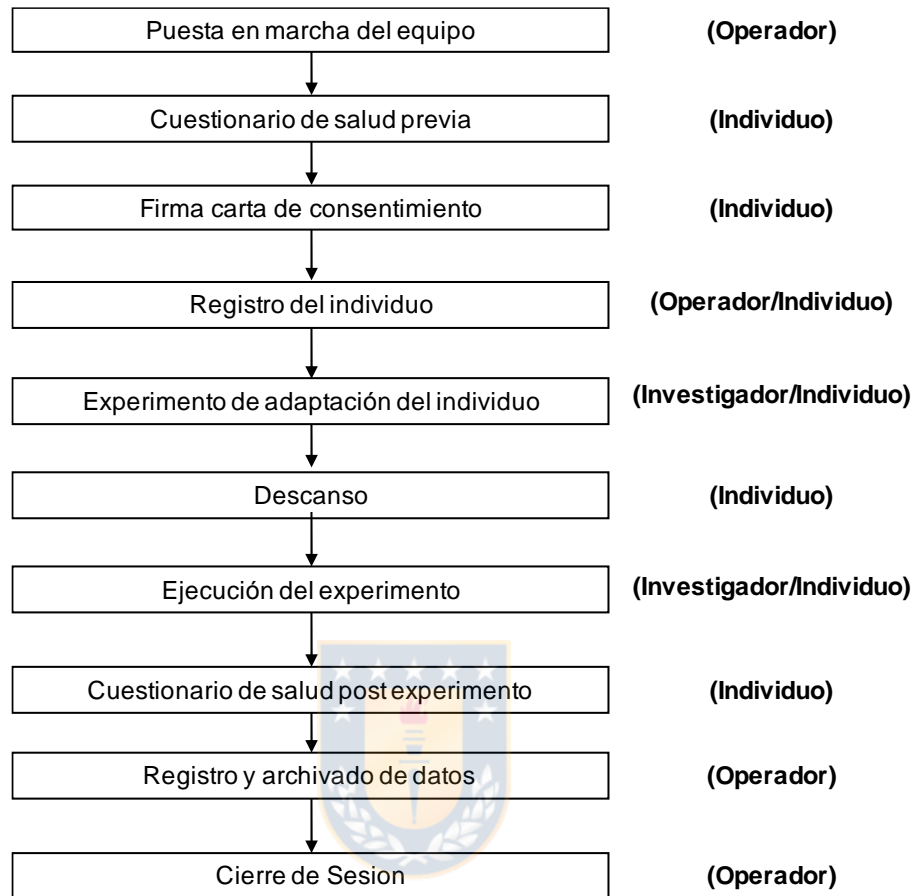


Figura A.3.2 Procedimientos durante el experimento

Cada etapa cuenta con actividades que deben ejecutar los tres actores. Las Tablas A.3.1 y A.3.2 presentan la descripción de las actividades incluyendo la duración estimada y los participantes.

Tabla A.3.1 Descripción de actividades de la etapa previa al experimento

Actividad	Participantes	Duración	Descripción
Llenar ficha uso del simulador de conducción	Investigador	-	El investigador debe llenar la ficha de uso del simulador indicando los responsables del proyecto, características del experimento y declarar conocimiento de los reglamentos y obligaciones en su participación
Anexar nómina preliminar de los individuos del ensayo	Investigador	-	El investigador debe anexar a la ficha de uso del simulador, una nómina con los datos de los individuos que formaran parte de la muestra de su experimento
Agendar horario individuo en sistema de reserva	Investigador	-	A través de la plataforma de reserva, el investigador debe agendar un horario de asistencia para cada individuo de su muestra, en bloques de dos horas
Confirmación de la reserva del investigador	Operador	-	Con la reserva ya registrada del investigador, el operador de aceptarla o rechazarla en relación al estado de los equipos y la disposición del laboratorio
Cuestionario multidimensional de estilo de conducción	/Individuo	7 - 15 min	El investigador debe enviar a cada individuo el cuestionario de estilos de conducción, el cual debe ser completado por toda la muestra, para luego ser procesado por el investigador.
Preparación de la muestra	Investigador	-	El investigador debe enviar vía correo electrónico las indicaciones que debe cumplir el individuo el día de la medición

Tabla A.3.2 Descripción de actividades durante el experimento

<b>Actividad</b>	<b>Participantes</b>	<b>Duración</b>	<b>Descripción</b>
Puesta en marcha de los equipos	Operador	5 min	Tiempo previo al horario registrado en el sistema de reserva, el operador debe poner en marcha los equipos del laboratorio
Firma carta consentimiento	Individuo	5 min	El investigador debe exponer los posibles síntomas del simulador de conducción, para que luego, el individuo firme la carta donde consiente su participación en conocimiento de estos
Cuestionario de salud pre-experimento	Individuo	7 min	El individuo debe completar el cuestionario de salud previo a la simulación, buscando evidenciar su estado antes del experimento
Registro del individuo	Operador/Individuo	5 min	El operador debe registrar a cada individuo en el software Sócrates en el puesto de instrucción, ingresando los datos solicitados por el sistema
Experimento adaptación del individuo	Investigador/Individuo	-	El investigador debe aplicar el método de adaptación preparado para su proyecto a cada uno de los individuos
Descanso	Individuo	5 min	Se le debe conceder cinco minutos de descanso al individuo luego de la adaptación, donde se pueda hidratar

<b>Actividad</b>	<b>Participantes</b>	<b>Duración</b>	<b>Descripción</b>
Experimento del investigador	Investigador/Individuo	-	El investigador debe aplicar el experimento de medición diseñado para su proyecto a cada uno de los individuos de la muestra
Cuestionario de salud post-simulación	Individuo	7 min	El individuo debe completar el cuestionario de salud luego de la simulación, buscando evidenciar su estado post-experimento
Registro y archivo en la base de datos	Operador	10 min	El operador debe descargar las telemetrías, agrupar las encuestas y los datos de otros equipos e incorporarlas a la base de datos del laboratorio
Finalización de equipos	Operador	5 min	Finalizado el experimento, el operador debe apagar los equipos utilizados

## 2. PROTOCOLO DE EXPERIMENTACION

En este protocolo se especifican las actividades, obligaciones y responsabilidades en cada una de las etapas del protocolo de experimento en el simulador de conducción. El protocolo debe aplicarse a cada uno de los participantes, incluyendo los procedimientos previos a la experimentación y durante la experimentación.



## **2.1 Ficha de uso del simulador de conducción**

El investigador encargado del proyecto de completar la ficha de uso del simulador de conducción. En la primera sección debe identificar el nombre del proyecto, los responsables, el tamaño muestral con el que se trabajará y el rango de fechas para el desarrollo del experimento. En la segunda sección, deben declarar conocimiento del reglamento del laboratorio, protocolo exigido, carta de consentimiento de los individuos y asumir responsabilidad monetaria frente a cualquier daño de los equipos de laboratorio debido al incorrecto uso de estos. La ficha debe ser firmada por el jefe del proyecto y entregada al administrador del laboratorio.

## **2.2 Nómina preliminar de individuos del ensayo**

El investigador al entregar la ficha de uso del simulador de conducción, debe incluir una nómina preliminar identificando a los individuos que forman parte de la muestra. Los datos a registrar son: nombre, apellido, contacto mediante correo electrónico y número de teléfono. Esta nómina puede ser modificada durante las fechas especificadas por el investigador, eliminando y agregando nuevos individuos, pero manteniendo un tamaño muestral similar al ingresado en la ficha de uso del simulador de conducción ya entregada.

## **2.3 Agendar individuo en sistema de reserva**

El proceso de reserva de horario del simulador de conducción debe realizarse a través del sitio web: <http://udec.simplybook.me/v2/> El investigador debe agendar la reserva mínimo un día previo al experimento, en bloques de dos horas por individuo. El horario disponible es de lunes a jueves desde las 09:00 a las 19:00 hrs. El procedimiento a seguir se encuentra especificado a continuación.

Tabla A.3.3 Procedimiento de agendamiento de horario en el sistema de reserva

<b>Pasos</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
Paso 1	Ingresar Reserva	En la página de inicio se debe seleccionar "Reservar ahora"
Paso 2	Seleccionar bloque horario	El investigador debe seleccionar un bloque de dos horas, por separado, es decir, se reserva una hora primero y luego la siguiente, según el horario disponible del individuo. Los horarios en color celeste se encuentran disponibles y los grises ya ocupados.
Paso 3	Ingresar datos	Ya seleccionado el horario, se deben confirmar los datos del investigador que realizó la reserva. Ingresar: nombre y apellido, correo electrónico y contacto telefónico. Confirmar el horario seleccionado y presionar Reservar. Será enviado un correo electrónico de reserva, al que se puede acceder en cualquier momento para cancelar la reserva realizada, seleccionando el link que lo indica.
Paso 4	Confirmar reserva	El sistema le señalará que la reserva se realizó con éxito. El operador recibirá una notificación de la reserva y procederá a aceptar o cancelar en relación al estado de los equipos y la disposición del laboratorio. El investigador puede agendar la reserva en su calendario personal de Google. Para finalizar puede aceptar la reserva o cancelarla.

## 2.4 Confirmación de la reserva del investigador

Luego de que el administrador haya recibido la notificación de la reserva realizada por el investigador, se coteja el horario seleccionado con la disponibilidad del equipo y con el calendario de actividades del laboratorio, con tal que no existan interrupciones en el desarrollo del experimento. Si el horario cumple con ambas condiciones, éste es aceptado por el operador, de lo contrario se cancela la reserva. Todas las notificaciones tanto de aceptación, cancelación o reagendamiento se notifican al investigador mediante correo electrónico.

## 2.5 Cuestionario multidimensional de estilo de conducción

El investigador, previo al día del experimento, debe enviar vía correo electrónico el cuestionario multidimensional de estilo de conducción del laboratorio de GESITRAN a cada individuo dentro de la muestra del experimento. Cada participante debe completar el cuestionario en su totalidad.

El cuestionario contiene las preguntas específicas para definir el estilo de conducción predominante. Además, incluye la identificación de uso de lentes ante luz artificial y en conducción, enfermedades crónicas con o sin tratamiento y si el individuo sufre de vértigo. Las últimas dos preguntas mencionadas, condicionan la participación del individuo en el experimento, así entonces personas que sufran de vértigo o presenten enfermedades crónicas con o sin tratamiento, no pueden ser sujeto de prueba en el simulador de conducción.

Las respuestas son registradas en la base de datos del laboratorio, a la cual el investigador puede tener acceso y procesar los datos obtenidos con el método que estime conveniente.

Nota: El Cuestionario no puede ser modificado por el investigador. Si se requieren modificaciones o adaptaciones especiales debido a la naturaleza del experimento, el investigador debe solicitar al administrador del laboratorio el requerimiento. El administrador realizará los cambios.

## 2.6 Preparación de la muestra

El investigador debe hacer llegar vía correo electrónico al individuo las indicaciones y condiciones que se deben llevar a cabo para ser parte del experimento en el simulador de conducción. Las indicaciones son:

1. Poseer el día del experimento la licencia chilena de conducir
2. De 6 a 8 horas de sueño en la noche previa al experimento

3. No consumir cafeína 8 horas antes de la medición
4. No haber consumido medicamentos, alcohol, ni drogas previo al experimento
5. No estar en tratamiento médico que involucre ingesta de medicamentos que alteren el estado de atención (analgésicos, sedantes u otro).

El individuo debe responder por el mismo medio, si acepta o no las indicaciones y condiciones del experimento. Al aceptar, se confirma el horario reservado para el individuo, de lo contrario se debe proceder a cancelar la reserva siguiendo el procedimiento indicado en el “paso 3” de procedimiento de reserva.

## **2.7 Puesta en marcha de los equipos**

El día del experimento, previo al período de reserva, el operador debe poner en marcha los equipos que serán utilizados en el desarrollo del experimento. El operador debe realizar una sesión de prueba, cerciorándose que todo esté funcionando correctamente, También adecuará el laboratorio para la recepción de los individuos, acomodando las instalaciones (luces, sillas y agua dispuesta para los individuos) facilitando el desarrollo del experimento.

## **2.8 Firma de carta de consentimiento**

Cuando el individuo ingresa al laboratorio en el horario reservado, el investigador debe hacerlo pasar a la sala del puesto de instrucción, sentarlo y exponerle el experimento que se llevará a cabo, explicar los posibles síntomas que produce el simulador y dar a conocer que el laboratorio no se hace responsable de problemas de salud, lesiones, daños o robo de pertenencias dentro de las dependencias durante el transcurso del experimento ni posterior a éste. El individuo debe firmar la carta de consentimiento a la participación del experimento en conocimiento de lo expuesto por el investigador. Durante este proceso, sólo pueden estar presentes dos personas en la sala de instrucción.

## 2.9 Cuestionario de salud pre-experimento

Cuando el individuo ya accedió a participar del experimento, debe completar el cuestionario de salud pre-experimento del laboratorio de GESITRAN, registrado en la base de datos del laboratorio. Este cuestionario tiene como objetivo evidenciar el estado de salud del individuo previo a la simulación. El investigador tendrá acceso a los resultados individuales del cuestionario para procesarlos como le estime conveniente.

## 2.10 Registro de individuo

Luego de haber completado el cuestionario de salud, el individuo debe dirigirse al puesto de instrucción con su licencia de conducir. El operador debe procesar el registro del nuevo usuario siguiendo el procedimiento de la Tabla 3.4

Tabla A.3.4 Procedimiento de registro de individuo

Pasos	Nombre	Descripción
Paso 1	Ingresar usuario instructor	El operador debe iniciar sesión en el software Sócrates con su usuario de instructor
Paso 2	Ingresar nuevo "alumno"	El operador debe acceder a administración, alumno y añadir, para ingresar al nuevo usuario
Paso 3	Identificar nuevo usuario	El operador debe ingresar nombre del usuario, utilizar nombre y primer apellido del participante. Password, utilizar "1234" inicialmente, informar que esta puede ser modificada si el participante desea ver su información, por último, ingresar correo electrónico del participante
Paso 4	Completar información del individuo	Ingresar primer nombre y ambos apellidos del participante, el Rut debe ser ingresado sin puntos ni guion, fecha de nacimiento y dirección principal del sujeto. Complemento, barrio y CP, no se deben completar. País Chile y provincia Bio-Bio. Ciudad Concepción, indicar género del sujeto, teléfono celular de contacto principal, no completar teléfono secundario ni empresa. Agregar información de la licencia de conducir, categoría y

Pasos	Nombre	Descripción
		fecha de vencimiento (Exigir la licencia de conducir a cada participante el día de la simulación), por último, se debe ingresar los años de experiencia conduciendo del participante
Paso 5	Registro biométrico	ir a la carpeta “starter” y abrir programa “huella”, buscar el nombre del alumno que se desea añadir. Se debe registrar la huella digital que el participante decida, 5 veces en el dispositivo en las dos posiciones posibles. Si no acepta el registro, limpiar el detector y volverlo a intentar.

### 2.11 Experimento de adaptación

Luego del registro del individuo en el sistema, se debe proceder a realizar una sesión de adaptación al simulador. El método utilizado para adaptar a la muestra del experimento es decisión del investigador, el que definirá el experimento en relación a las características del equipo utilizado. El seguimiento del experimento debe realizarlo el investigador desde el puesto de instrucción. Al finalizar esta etapa se le debe conceder al individuo un descanso de cinco minutos, fuera de la sala de simulación, donde se pueda hidratar, distraer y descansar.

### 2.12 Experimento del investigador

Durante el descanso del individuo, el investigador debe preparar las características de su experimento de medición. Si se requiere de algo específico del laboratorio debe ser informado al operador anticipadamente. Con todo ya preparado, luego de los cinco minutos de descanso, se debe dirigir al individuo donde sea solicitada su presencia.

### **2.13 Cuestionario de salud post-experimento**

Ya finalizado el experimento en el simulador de conducción, el individuo debe responder el cuestionario de salud post-experimento del laboratorio de GESITRAN, registrado en la base de datos del laboratorio. Este cuestionario tiene como objetivo evidenciar el estado de salud del individuo posterior a la simulación. El investigador tendrá acceso a los resultados individuales del cuestionario para procesarlos como le estime conveniente.

### **2.14 Registro y archivo en la base de datos**

Analizada la participación del individuo en el experimento del investigador, el operador debe proceder a descargar las telemetrías obtenidas, agrupar los cuestionarios y registrar todos los datos de los demás equipos, para luego incorporarlos a la base de datos del laboratorio. El investigador tendrá acceso a los datos archivados en la base de datos.

### **2.15 Cierre de sesión**

Al finalizar los horarios reservados del día, el operador debe dar finalización a los equipos del laboratorio utilizados en el experimento desarrollado.