



**Modelo de regresión logística para predicción de somnolencia, diseñado para conductores del autotransporte federal.**

Noviembre, 2018



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Maestría En Vías Terrestres y Movilidad.

Modelo de regresión logística para predicción de somnolencia, diseñado para conductores del autotransporte federal.

Opción de titulación  
**Tesis o Publicación de artículos**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ingeniería en Vías Terrestres y Movilidad

**Presenta:**  
Ing. Mario Humberto Páez Lugarel

Dirigido por:  
M. en I. Emilio Abarca Pérez

M. en I. Emilio Abarca Pérez  
Presidente

Dr. Saúl Antonio Obregón Biosca  
Secretario

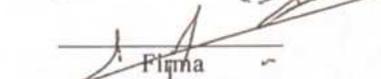
Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza  
Vocal

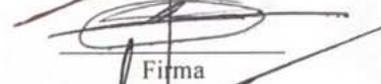
Dr. Ovidio Arturo González Gómez  
Suplente

Dr. Jesús Manuel Chavarría Vega  
Suplente

Dr. Manuel Toledano Ayala  
Director de la Facultad

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Dr. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña  
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Noviembre, 2018

## RESUMEN

Cada año en México mueren alrededor de 16,000 mexicanos por percances viales y más de 100 mil resultan lesionados, esto no solo trata de pérdidas humanas, sino que en términos económicos representa una pérdida para el país de alrededor de 468 mil millones de pesos, equivalente 2.5% del Producto Interno Bruto. De los factores causantes de los accidentes en carreteras federales se reporta que 77.26% son atribuibles al conductor, de los cuales 29% se refiere al estado somnoliento. Motivados por esta situación, se decidió desarrollar un modelo de predicción de somnolencia, diseñado para conductores del autotransporte federal, ya que se observó que en México este sector de conductores pudiera presentar mayor riesgo de sufrir somnolencia. Para desarrollar el modelo de predicción, se planteó una metodología que consistió primeramente en una revisión literaria de los modelos de predicción de somnolencia en el ámbito mundial; posteriormente se hizo un análisis comparativo de los modelos más importantes encontrados, con la finalidad de plantear la forma base y las variables en las que se sustentaría la presente investigación; se establecieron los cuestionarios y pruebas a realizar, se definieron tres poblaciones de estudio y tamaños de muestra; la etapa posterior consistió en la aplicación de los cuestionarios y pruebas, la recopilación de resultados para su procesamiento y la estimación del modelo. Se logró estimar un modelo logit de predicción de somnolencia de buen rendimiento para la población de conductores de autobuses, como para la de carga y se comprobó la hipótesis acerca de que el nivel de significancia de las variables en ambas poblaciones es distinto.

**(Palabras clave:** Somnolencia, Fatiga, Transporte de Carga, Modelos, Predicción)

## SUMMARY

Because of the problems detected, where every year in Mexico are killed around 16,000 Mexicans by road mishaps related with drowsy driving, which is not only about human losses, but in economic terms represents a loss for the country of 468 thousand million, equivalent to 2.5 of Gross Domestic Product (GDP). Of the factors causing accidents on federal highways it was reported that 77.26% are attributable to the driver, of which 29% refers to the somnolent state. Motivated by this situation, it was decided to estimate a prediction model drowsiness, designed to federal motor carrier drivers since it was found that in Mexico this sector of drivers could be at increased risk of drowsiness.; To estimate the prediction model, central object of this research, a methodology was raised and consisted primarily in a literary review in terms of predictive models of drowsiness at the global level; Subsequently we made a comparative analysis of the most important found, in order to raise the basic shape and variables in which sustain our model; In the next step tests and questionnaires were established, as well as the populations, defining three study populations and the sample size; The subsequent step was to apply the questionnaires and tests, collect the results for processing and finally estimate the prediction model. It was managed to estimate a logit model for predicting drowsiness with good performance for the population of bus drivers and for load, and the assumption about the level of significance of the variables is different in both populations was found.

**(Key words:** Drowsiness, Fatigue, Federal Transport, Models, Prediction)

Por mi vida, formarme, hacer de mi lo que ahora soy y todo su apoyo ahora y siempre.

A mi madre, mis hermanos y familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo económico durante estos dos años para la realización de esta investigación, así como también, al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) por su interés, asesoría y tiempo brindado. En especial, agradecer a la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte por siempre tener sus puertas abiertas y en específico al Maestro Emilio Abarca Pérez por su respaldo incondicional, motivación e incluso sacrificio durante la dirección de esta investigación para que se realizara de la mejor manera.

<b>Tabla de contenidos</b>	<b>Pág.</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	13
1.3. HIPÓTESIS .....	14
1.4. OBJETIVOS.....	15
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	15
1.4.2. <i>Objetivo Particular:</i> .....	15
<b>II. REVISIÓN LITERARIA</b> .....	<b>16</b>
2.1. EL VEHÍCULO, SU CLASIFICACIÓN, EL CONDUCTOR Y SUS CARACTERÍSTICAS..	16
2.1.1. <i>El vehículo</i> .....	16
2.1.2. <i>Tipo, dimensiones y peso</i> .....	16
2.1.3. <i>El conductor</i> .....	17
2.1.4. <i>Características del conductor</i> .....	17
2.1.4.1. <i>Visión</i> .....	17
2.1.4.2. <i>Expectativa</i> .....	18
2.1.4.3. <i>Reacción</i> .....	18
2.1.4.4. <i>Respuesta</i> .....	19
2.2. SOMNOLENCIA .....	19
2.2.1. <i>Descripción</i> .....	19
2.2.2. <i>Maneras de diagnosticar y/o detectar somnolencia</i> .....	20
2.2.2.1. <i>Cuestionario STOP-BANG y apnea obstructiva del sueño AOS</i> .....	21
2.2.2.2. <i>Cuestionario Epworth</i> .....	23
2.2.2.3. <i>Cuestionario de Matutinidad y Vespertinidad o “Cronotipo”</i> .....	24
2.2.2.4. <i>Cuestionario Escala de somnolencia Karolinska</i> .....	24
2.2.2.5. <i>Prueba de Vigilancia Psicomotora (PVT)</i> .....	25
2.2.3. <i>Estudios y dispositivos de Somnolencia en el transporte</i> .....	26
2.2.3.1. <i>Estudios de la fatiga de conductores</i> .....	27
2.2.3.2. <i>Tecnologías de prevención y detección de la fatiga en la conducción</i> .....	28
2.2.4. <i>Estudios sobre somnolencia realizados en México</i> .....	29
2.2.5. <i>Relación horas de conducción y desarrollo de fatiga</i> .....	30
2.3. MODELOS DE REGRESIÓN .....	31
2.3.1. <i>Descripción de los modelos de regresión</i> .....	31
2.3.2. <i>Modelo Logit y modelo Logit multinomial</i> .....	32

<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>33</b>
3.1. REVISIÓN DE LA LITERATURA. ....	33
3.2. ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS MODELOS EXISTENTES. ....	33
3.3. DEFINICIÓN Y ELABORACIÓN DE LOS CUESTIONARIOS Y PRUEBAS. ....	34
3.4. TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	34
3.5. APLICACIÓN DE LOS CUESTIONARIOS Y PRUEBAS.....	34
3.6. PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS A TRAVÉS DE LOS CUESTIONARIOS Y PRUEBAS. ....	34
3.7. ESTIMACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO. ....	35
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>36</b>
4.1. ESTUDIO Y COMPARACIÓN DE LOS MODELOS EXISTENTES. ....	36
4.2. DEFINICIÓN, ELABORACIÓN DE CUESTIONARIOS Y TAMAÑO DE MUESTRA. ....	38
4.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA. ....	41
4.4. APLICACIÓN DE LOS CUESTIONARIOS Y PRUEBAS.....	42
4.5. PROCESAMIENTO DE RESULTADOS. ....	67
4.6. ESTIMACIÓN DEL MODELO. ....	67
<b>V. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>73</b>
<b>VI. REFERENCIAS .....</b>	<b>76</b>
<b>VII. APÉNDICE .....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 4.1. Fortalezas y Debilidades de Distintos Modelos de Análisis Destacados para Predicción de Somnolencia.....	39
Tabla 4.2. . Variables destacadas encontradas para la estimación de los modelos de predicción.....	68
Tabla 4.3. Variables destacadas con mayor nivel de significancia.....	69
Tabla 4.4. Modelos Logit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Autobuses del Autotransporte Federal.....	70
Tabla 4.5. Modelos Probit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Autobuses del Autotransporte Federal.....	71
Tabla 4.6. Modelos Logit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Carga del Autotransporte Federal.....	71
Tabla 4.7. Modelos Probit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Carga del Autotransporte Federal.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1: Clasificación de las tecnologías relativas a la fatiga del conductor. Fuente: Romero et al. (2004).....	28
Figura 3.1: Pasos metodológicos para realización de la investigación.....	32
Figura 4.1: Porcentaje de sujetos población de conductores de automóviles por tipo de riesgo de poseer AOS, resultados cuestionario STOP-BANG.....	43
Figura 4.2: Porcentaje de sujetos población de conductores de transporte de pasajeros por tipo de riesgo de poseer AOS, resultados cuestionario STOP-BANG.....	43
Figura 4.3: Porcentaje de sujetos población de conductores de transporte de camiones de carga por tipo de riesgo de poseer AOS, resultados cuestionario STOP-BANG.....	44
Figura 4.4: Relación entre cantidad de pausas y horas de conducción para los conductores de transporte de pasajeros.....	46
Figura 4.5: Relación entre horas de descanso y horas de conducción a la semana, para los conductores de transporte de pasajeros.....	47
Figura 4.6: Relación entre las horas de descanso de la noche anterior al viaje y horas de conducción para los conductores de transporte de pasajeros.....	48
Figura 4.7: Relación entre cantidad de pausas y horas de conducción para los conductores de camiones de carga.....	49
Figura 4.8: Relación entre horas de descanso intermedios y horas de conducción para los conductores de camiones de carga.....	50
Figura 4.9: Relación entre horas de descanso de la noche anterior al viaje y horas de conducción para los conductores de transporte de carga.....	51
Figura 4.10: Porcentaje de sujetos de la población conductores de automóviles por tipo de somnolencia, resultados del cuestionario Epworth.....	52
Figura 4.11: Porcentaje de sujetos de la población conductores de transporte de pasajeros por tipo de somnolencia, resultados del cuestionario Epworth.....	53

Figura 4.12: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por tipo de somnolencia, resultados cuestionario Epworth.....	54
Figura 4.13: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles por su cronotipo, resultados del cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad.....	55
Figura 4.14: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por su cronotipo, cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad.....	56
Figura 4.15: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por su cronotipo, resultados del cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad.....	57
Figura 4.16: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles por estado de alerta, resultados de la prueba (PVT-B).....	58
Figura 4.17: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por estado de alerta, resultados de la prueba (PVT-B).....	59
Figura 4.18: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por estado de alerta, resultados de la prueba (PVT-B).....	60
Figura 4.19: Ojiva de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores de automóviles, resultados de la prueba (PVT-B).....	61
Figura 4.20: Ojiva de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores del transporte de pasajeros, resultados de la prueba (PVT-B).....	61
Figura 4.21: Ojiva de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores de camiones de carga, resultados de la prueba (PVT-B).....	62
Figura 4.22: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles por estado de somnolencia, resultados del cuestionario de escala de somnolencia Karolinska.....	63
Figura 4.23: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por estado de somnolencia, resultados del cuestionario de escala de somnolencia Karolinska.....	64

Figura 4.24: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por estado de somnolencia, resultados del cuestionario de escala de somnolencia Karolinska.....65

Figura 4.25: Grafica de dispersión del Tiempo de reacción versus Horas de Conducción de la Población de Conductores de Transporte de Pasajeros.....66

Figura 4.26: Grafica de dispersión del Tiempo de reacción versus Horas de Conducción de la Población de Conductores de Camiones de Carga.....67

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a Haraldsson y Akerstedt (2001) la somnolencia en conductores es uno de los mayores factores causantes de percances en carreteras. Es un problema que aqueja no sólo a nuestro país y debe tratarse inmediatamente. El uso de una herramienta adecuada para la detección de conductores en estado de somnolencia se traducirá en vidas salvadas, y a su vez en reducción de daños materiales y pérdidas económicas.

El autotransporte federal posee características diferentes con respecto a los conductores de automóviles, este sector de la población de conductores pudiera presentar mayor riesgo de sufrir somnolencia, debido a sus condiciones particulares de trabajo que involucran largos periodos de conducción ininterrumpida siendo más vulnerable a la condición de fatiga o somnolencia. Un punto importante a destacar acerca de este tipo de vehículos en cuestión, es que debido a sus dimensiones y a la carga con la que transitan, se torna aún más peligroso que sus conductores desarrollen somnolencia. Es por ello, que el presente estudio se centrará en este sector de la población de conductores. Para atender adecuadamente las necesidades que este sector demanda en términos de detección de somnolencia, la elección del enfoque y metodología adecuada es primordial. Por otro lado, los resultados que la investigación genere, ayudarán y representarán un apoyo a la normativa que recientemente ha sido publicada.

### 1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con los datos publicados por el Secretariado Técnico del Consejo Nacional para Prevención de Accidentes (STCONAPRA, 2013), en México cada año mueren alrededor de 16,000 mexicanos por percances viales y otros 100 mil resultan lesionados. Con base en estimaciones hechas en el estudio “El Verdadero Costo de las Colisiones Viales: El Valor de Una Vida y el Costo de Una Lesión Grave” (<http://www.irap.org/about-irap-3/research-and-technical-papers>), enfoque que aplica el Banco Mundial para proyectos en materia de seguridad, los percances viales le cuestan al país alrededor de 468 mil millones de pesos, lo cual representa el 2.5% del Producto Interno Bruto (PIB).

De los factores causantes de los accidentes en carreteras federales se reporta que el 77.26% son atribuibles al conductor, de los cuales el 29% se refiere al estado somnoliento. Motivados por esta situación, se decidió desarrollar con esta investigación un modelo de

predicción de somnolencia especializado para conductores del autotransporte federal, ya que se observó que en México este sector de conductores pudiera presentar mayor riesgo de sufrir somnolencia. Para atender esta problemática generada por la somnolencia en conductores, hay distintos estudios, como el realizado por Solaz *et al.* (2016) basado en mediciones al ritmo respiratorio, que, aunque es novedoso y práctico, aún está en fase de desarrollo, pero no está diseñado para un sector en específico. Destacan de las metodologías basadas en medidas fisiológicas las desarrolladas por Borghini *et al.* (2012) y Silveira *et al.* (2016), pero también no están diseñadas para un sector específico, además de que son significativamente más caras en comparación con las que se basan en mediciones de la métrica ocular, como el estudio de Aidman *et al.* (2015) y Wang y Xu (2015) que comparten con las anteriores metodologías y a su vez con las basadas en medidas de comportamiento del conductor, como la realizada por Murata *et al.* (2015), la característica de no estar diseñadas para un sector específico.

Murata *et al.* (2015) realizó un modelo Logit de predicción de somnolencia que incluye variables de comportamiento como el manejo del automóvil, ángulo del cuello, presión en el pedal, presión en el respaldo y movimiento en la superficie del asiento, el cual fue desarrollado con características de la población en general de conductores. Lo que pretende el presente estudio es, a partir de una metodología similar a la propuesta por Murata *et al.* (2015), estimar un modelo con el cual pueda apreciarse que variables tienen mayor significancia, tomando como variables, las relacionadas con la fisiología y comportamiento del conductor del autotransporte federal, es decir, variables vinculadas con los hábitos de sueño del conductor pero de este sector en específico, así como también, variables de su fisionomía que lo propicien a desarrollar somnolencia. Esta investigación pretende demostrar que el orden de significancia de estas variables, en este tipo de conductores es distinto al de la población normal, por otra parte, una vez estimado el modelo, los resultados generados y vinculados a éste, proporcionarán un apoyo para la Norma Oficial Mexicana que regula las de horas de sueño y conducción de conductores del servicio público federal, recientemente publicada. Lo anterior, en términos del sustento de las horas de tiempo de conducción que ahí se establecen, así como el modelo que, a través de un dispositivo, mida el nivel de fatiga o somnolencia antes de realizar un periodo de conducción y con ello se pueda decidir si un conductor es apto o no para realizar un viaje.

### 1.3. HIPÓTESIS

Las variables como el índice de masa corporal, circunferencia de cuello, presión alta, horas de conducción y descanso, poseen distinto nivel de significancia para conductores del

autotransporte federal, un modelo Logit de predicción de somnolencia, contemplando esta diferencia, predice con precisión esta condición en este sector de conductores.

#### 1.4. OBJETIVOS

##### 1.4.1. Objetivo General

Estimar un modelo de regresión logística de predicción de somnolencia, empleando variables de fisiología y comportamiento de conducción y sueño de los conductores del autotransporte federal.

##### 1.4.2. Objetivo Particular:

Encontrar la diferencia de significancia entre las variables planteadas, de tal manera que se pueda detectar cuales son las que tienen mayor peso y explicación de este fenómeno somnolencia. De este modo, utilizar la información obtenida para estimar un modelo de regresión logística de predicción de somnolencia de buen desempeño. Adicionalmente, encontrar una relación entre el tiempo de conducción y el desarrollo de fatiga o somnolencia, para los conductores del autotransporte federal.

## II. REVISIÓN LITERARIA

### 2.1. EL VEHÍCULO, SU CLASIFICACIÓN, EL CONDUCTOR Y SUS CARACTERÍSTICAS.

#### 2.1.1. El vehículo

El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras 2016 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (MPGC), establece que el vehículo es el medio que utiliza el usuario para circular por la carretera y su influencia en el proyecto geométrico es decisiva. Sus principales características son: tipo, dimensiones, peso y características de operación.

#### 2.1.2. Tipo, dimensiones y peso

De acuerdo con el MPGC los vehículos se clasifican de acuerdo con alguno de sus atributos; por ejemplo, según su función se han clasificado como de pasajeros o de carga, según su peso como ligeros o pesados, según su régimen de propiedad como particulares o comerciales, según su configuración como unitarios o articulados, según su uso y tamaño y a su vez reglamentados con respecto a la NOM-012-SCT-2-2017 (NOM-012), como autos (A), autobuses (B) y camiones (C). Aunque esta última clasificación en A, B y C suele ser muy común, conviene establecer una tipología más fina para camiones, que incluya sus principales características. De esta manera, la letra C se ha reservado para camiones unitarios. Los camiones articulados se designan con la primera letra del nombre de las unidades de que constan: T para el tracto camión, S para el semirremolque o primera unidad de carga cuya parte delantera se conecta con el eje trasero del tractor a través de una articulación llamada quinta rueda y un eje trasero no giratorio o fijo. Finalmente, cuando existe, R es el remolque o segunda unidad de carga que se apoya en dos ejes, el delantero giratorio y el trasero fijo. También puede formarse con un semirremolque que se apoya en su parte delantera en una plataforma que tiene una articulación y se apoya en un eje, usualmente doble, llamada convertidor o “Dolly”.

A cada una de las letras mencionadas, C, T, S ó R, se le agrega un dígito, que corresponde al número de ejes sencillos de que consta esa parte de la unidad. De esta manera, los vehículos más usuales en la red nacional de carreteras, puesto que cubren más del 99% del flujo de tránsito, son los denominados: A2, B2, B3, C2, C3, T3S2 ó T3S3 y T3S2R4, que comúnmente se les denomina como automóvil (A2), autobús (B2 y B3), camión sencillo o camión rabón (C2), tórton (C3), tráiler (T3S2 y T3S3) y full tráiler (T3S2R4).

De igual manera tanto el MPGC como la NOM-012 explican que las principales dimensiones de los vehículos que influyen en el proyecto geométrico de las carreteras son alto,

ancho y longitud, así como las distancias entre los ejes consecutivos del vehículo y su entrevía, altura de los ojos del conductor y altura de las luces. El peso total del vehículo cargado o peso bruto vehicular (PBV) y su distribución por ejes es muy relevante en el diseño estructural de puentes y pavimentos, aunque también es pertinente para el proyecto geométrico, sobre todo cuando se relaciona con la potencia del motor del vehículo, pues de ello depende el diseño geométrico de las tangentes del alineamiento vertical; por último, de su longitud y entrevía depende el ancho de calzada en curva.

Lo anterior es importante ya que se tiene que resaltar la diferencia de las características entre los vehículos operados por la población de conductores de autotransporte (objeto de esta investigación), de los vehículos operados por conductores de automóviles particulares. Diferencias que destacan principalmente en la dimensión y el peso, que, a diferencia de los automóviles, representan un mayor riesgo ya que al verse involucrados en algún siniestro, las consecuencias de éste se pueden magnificar.

#### 2.1.3. El conductor

El MPGC habla que el conductor es quien opera los vehículos automotores que circulan en la carretera. Sus limitaciones se refieren principalmente a la visión, la expectativa, la reacción y su respuesta. Por otro lado, de acuerdo con la NOM-012 se define como transportista de carga al permisionario de autotransporte federal que provee servicios de transporte combinando dos o más embarques en un solo viaje de origen-destino, con la finalidad de reducir costos y/o mejorar la utilización del equipo de transporte.

#### 2.1.4. Características del conductor

##### 2.1.4.1. Visión

La visión es descrita por el MPGC como la limitación más importante para conducir; en particular la agudeza visual, la visión periférica, el deslumbramiento, la percepción de colores y la profundidad de percepción.

La agudeza visual es la facultad de distinguir claramente un objeto. Esta facultad se disminuye por defectos congénitos o adquiridos, pero aún en personas normales tiene limitaciones, pues de éstas, aproximadamente el 85% distingue claramente los objetos en un cono de visión de 10 grados.

La visión periférica es la facultad de ver a los lados. Si bien se pueden percibir objetos en un cono visual de 120° a 160°, cuando se conduce, disminuye el ángulo de visión de este

cono a 100° para velocidad de 30 km/h, hasta solo 40° para una velocidad de 100 km/h. Para abarcar un mayor campo visual, por ejemplo 180°, los conductores tienen que mover los ojos rápida y armoniosamente de uno a otro lado, lo que puede tardar de 0.5 a 1.3 segundos con luz diurna a 30 km/h, pero con luz artificial puede requerir de otro tanto por cada 15 km/h de incremento de velocidad.

El deslumbramiento es la falta de adaptación a un cambio de luz, normalmente más intensa, como al cruzarse en la noche con otro vehículo en sentido contrario, aunque también ocurre cuando la luz es menos intensa como al entrar a un túnel. Por lo general, los ojos se adaptan a los cambios de luz cerrando o abriendo la pupila, aunque la adaptación residual es función de la retina. La adaptación de la pupila al pasar de la oscuridad a la luz es de unos 5 segundos y del doble al pasar de la luz a la oscuridad.

La percepción de los colores normalmente no es un problema en las personas, pero ciertos individuos no pueden distinguirlos cuando sufren de un defecto congénito llamado daltonismo. Este problema puede ser serio cuando se usan los colores para controlar el tránsito con semáforos, pero puede mitigarse si se uniformiza la posición de la luz en el dispositivo, para lo cual es necesario que todas las luces sean visibles.

La profundidad de percepción es la facultad de ubicar la distancia a que se encuentran los objetos. Esta facultad está asociada con la visión estereoscópica que depende de la correcta separación de los ojos y su buen funcionamiento.

#### 2.1.4.2. Expectativa

El MPGC establece que la expectativa se puede definir como la predisposición de un conductor para responder de manera predecible y exitosa a situaciones, eventos e informaciones; puesto que cuando se enfrentan situaciones nuevas o inesperadas, la probabilidad de accidentes es mayor. Por lo tanto, las características de la carretera deben responder a la experiencia del conductor, que puede ser de largo alcance, que es la que se adquiere durante toda la vida; de corto alcance, que es la que se adquiere en el transcurso de un viaje, o eventual, que es la asociada a eventos con poca probabilidad de ocurrencia.

#### 2.1.4.3. Reacción

Al igual que las características anteriores el MPGC define la reacción como el tiempo que tarda un conductor para responder a un estímulo. Es mayor cuando el estímulo es visual (0.18 s), que cuando es auditivo o táctil (0.14 s). Cuando el estímulo visual proviene de una situación de tránsito, la reacción del conductor requiere de un proceso de cuatro etapas:

percepción, identificación, decisión y acción. En conjunto, la duración de estas cuatro etapas varía entre 0.5 y 2.0 s si la situación es simple; sin embargo, a veces la situación es compleja o actúan variables no del todo controladas, como inexperiencia, edad, motivación y aversión al riesgo, que hacen que los tiempos de reacción puedan incrementarse hasta en cinco veces. No obstante, para fines del diseño de un proyecto geométrico de una carretera se usa un tiempo de reacción de 2.5 s, que cubre el 90% de las situaciones usuales.

#### 2.1.4.4. Respuesta

Por último, el MPGC se refiere a respuesta como al conjunto de decisiones que toma el usuario al conducir un vehículo y que son la resultante de las condiciones planteadas. Como estas decisiones se dan en el espacio o en el tiempo y la velocidad relaciona estas dos variables, la velocidad deseada es un buen indicador de la respuesta del conductor. Se entiende por velocidad deseada aquella velocidad que adoptaría el conductor al considerar las situaciones prevalecientes por su vehículo, la carretera y los demás vehículos.

Estas características del conductor anteriormente citadas, son de suma importancia ya que como se verá en la sección posterior de este capítulo, son estas mismas características las que se ven afectadas cuando el conductor se encuentra bajo los efectos de la somnolencia, produciendo así, el incremento en la probabilidad del conductor de verse involucrado en un siniestro.

## 2.2. SOMNOLENCIA

### 2.2.1. Descripción

De acuerdo con Hirshkowitz *et al.* (2014) el estado consiente varía a lo largo de la continuidad sueño-vigilia. Aunque el proceso neurológico subyacente puede fluctuar continuamente, generalmente consideramos el desvelo y sueño como estados discretamente diferentes, con conocimiento o conciencia asociada con el primero e inconciencia con el segundo. La velocidad y duración de la transición entre desvelo y sueño puede diferir, sin embargo, cuando hay intentos individuales de caer dormido y niveles intermedios de alerta, el término somnolencia puede emplearse. Similarmente, intentar despertar prematuramente, antes de que el sueño haya completado su función restauradora o que esté fuera de fase con el ciclo circadiano de sueño-vigilia, puede también precipitar la somnolencia. Es por esta razón, que la somnolencia ha sido caracterizada como un estado donde el sujeto está medio o parcialmente dormido o medio o parcialmente despierto. La somnolencia ha sido considerada como un

estado donde el sujeto presenta sueño, letargo, lentitud y falta de atención. La misma condición ocurre al despertar por la mañana y es típicamente conocida como “modorra”. Esto puede ser el resultado de permanecer con privación de sueño en sociedades capitalistas intensas, donde hay intentos individuales de permanecer despiertos tiempos más largos en la noche, a menudo para incrementar la productividad.

Hirshkowitz *et al.* (2014) dice que un individuo en condición somnolienta, es decir, en un estado parcialmente dormido puede estar inconsciente de que un micro-sueño ocurre incluso al mismo tiempo en que el individuo falla al responder a estímulos externos. Algunos sujetos lo describen como una extrema “modorra”, breve explicación, o una sensación de flotamiento. También dice que somnolencia y caer en desvelo tienen muchos sinónimos, incluyendo el cabeceo, dormitando y ensueño.

Por otro lado, la Asociación Americana de Trastornos del Sueño (American Sleep Disorders Association, 1997) citado por Rey *et al.* (2004) habla acerca de que dormir es una necesidad neurobiológica que se alterna en un patrón más o menos predecible con estados de vigilia y que además se han señalado más de 80 factores que producen alteraciones del sueño, de la vigilia o de ambos. El Panel de Expertos en Fatiga y Sueño en la Conducción (Expert Panel on Driver Fatigue and Sleepiness, 1998) citado por Rey *et al.* (2004), menciona que la somnolencia deteriora variables funcionales psicomotoras y neurocognoscitivas, como el tiempo de reacción, la capacidad de vigilancia, juicio y atención, así como el procesamiento de información, lo cual puede significar accidentes de trabajo para operadores de maquinaria potencialmente peligrosas. Lyznicki *et al.* (1998) citado por Rey *et al.* (2004), declara que en la situación extrema el conductor puede pestañar, cabecear y finalmente dormirse durante la conducción. En cualquier caso, la somnolencia determina una pérdida de capacidad de efectuar maniobras evasivas para evitar percances, que suelen acarrear altas tasas de mortalidad por evento y grandes pérdidas en infraestructura derivadas de la destrucción de los vehículos y de otros daños materiales.

### 2.2.2. Maneras de diagnosticar y/o detectar somnolencia.

Lomelí *et al.* (2008) habla de que las escalas para evaluar las características del funcionamiento cognoscitivo y además el comportamiento de las personas permiten la obtención de datos que orientan hacia un diagnóstico, la mayoría de las veces esto ocurre en el área de la salud mental y de la neurología. También comenta que existen diferentes tipos de pruebas de validación: la de contenido, la predictiva y la de constructo.

El mismo Lomelí *et al.* (2008) aborda el concepto de la calidad de sueño como un constructo que puede ser medido mediante escalas de autoinforme, menciona que este tipo de evaluación es fundamentalmente subjetiva e incluye cuestiones cuantitativas como lo son la duración del sueño, número de despertares, tiempo de latencia, además de aspectos cualitativos como la sensación de descanso y estado de ánimo. Otro aspecto que explica, es que el estudio del sueño no debería de referirse solamente al hecho de dormir de buena manera durante la noche, sino que debe de incluirse la exploración de la evaluación del buen funcionamiento diurno o matutino y que el informe subjetivo de la persona es de vital importancia en cuestiones de alteraciones del sueño. En ese sentido, habla de que algunas de las escalas que existen necesitan que la persona o paciente las responda de manera retrospectiva de acuerdo a lo que recuerda de su calidad de sueño durante días anteriores a la aplicación de la escala e incluso hasta un mes. Hoy en día, el cúmulo de conocimientos sobre el sueño, se ha aplicado para el desarrollo de escalas diseñadas para valorar características y/o diagnosticar trastornos del sueño en todo tipo de poblaciones como la infantil, adolescente y adulta. Abordando este tema Dauvilliers *et al.* (2017) dice que el exceso de sueño o somnolencia es el más importante y frecuente padecimiento reportado en las consultas de medicina del sueño, también aborda el tema de los métodos que comúnmente son usados para evaluar el sueño y difiere un poco de Lomelí *et al.* (2008) en el aspecto de que las evaluaciones subjetivas no son las más ideales, sino que deben de incluirse pruebas y/o cuestionarios objetivos y subjetivos de tal manera que se complementen brindando una mejor información. Ambos autores mencionan algunas de las pruebas y cuestionarios más importantes utilizados: objetiva, como lo es la Prueba de Vigilancia Psicomotora (Psychomotor Vigilance Test, PVT), y subjetivas, como lo son el cuestionario Epworth y la escala de somnolencia Karolinska. En las partes subsecuentes de este capítulo, se describirán algunos de los cuestionarios y pruebas más importantes de los descritos por estos autores, cabe mencionar que estos cuestionarios son los que se eligieron para formar parte de las pruebas de esta investigación.

#### 2.2.2.1. Cuestionario STOP-BANG y apnea obstructiva del sueño AOS

Chung *et al.* (2016) habla de que la Apnea Obstructiva del Sueño (AOS) es el tipo más común de desorden de sueño y respiración, en donde ocurren episodios repetitivos de colapsos faríngeos ya sean parciales o completos causando reducción o total cierre del flujo de aire durante el sueño. Tan *et al.* (2016) explica que este tipo de desorden ocasiona despertares y fragmentaciones de sueño. Es por eso que Chung *et al.* (2016) dice que este disturbio de sueño crónico se traduce en somnolencia diurna que le impide al sujeto su capacidad de

funcionar correctamente, afectando su calidad de vida. Por otro lado, Yang & Chung (2013) mencionan que hay evidencia fuerte que sugiere que hay muchas condiciones y factores de riesgo asociados con la AOS como el envejecimiento, la obesidad, el origen étnico, así como también el consumo de alcohol y tabaco. Estos tres autores coinciden en que, de acuerdo a estimaciones hechas, más del 80% de los individuos con moderada a severa AOS, se encuentran sin diagnosticar o peor aún sin tratamiento.

De acuerdo a lo anterior Yang & Chung (2013), Chung *et al.* (2016) y Tan *et al.* (2016) describen que el cuestionario “STOP-BANG” fue desarrollado y validado como una simple herramienta de escaneo rápido para pacientes quirúrgicos. Este cuestionario consiste en cuatro preguntas sencillas de respuesta si/no que están relacionadas entorno a si el paciente ronca, si se percibe cansado durante el día en sus actividades, si ha sido observado que deja de respirar mientras duerme y si padece de presión alta, además de otras cuatro preguntas demográficas en las que se incluye el Índice de Masa Corporal (IMC), la edad, la circunferencia de cuello y el sexo del paciente. El cuestionario puede ser completado rápidamente dentro de un periodo de 1 a 2 minutos, y ha demostrado poseer un 84% de sensibilidad para detectar cualquier AOS, un 93% de sensibilidad para detectar una AOS moderada a severa, y un 100% de sensibilidad para detectar una AOS severa. Por lo anterior, además de su eficacia y fácil uso es que Chung *et al.* (2016) dice que el STOP-BANG es ampliamente adoptado y validado en varias poblaciones como en clínicas de medicina del sueño, pacientes quirúrgicos, población en general, pacientes embarazadas, pacientes con fallas renales y conductores de autobuses, estos últimos con relación directa a la población de estudio de esta investigación.

Cabe destacar que hoy en día existen tratamientos para la AOS que tienen como objetivo resolver o mejorar los signos y síntomas, normalizar la arquitectura del sueño, y abatir el ronquido, con ello reduciendo el Índice de Apnea-Hipoapnea (IAH) y a su vez el riesgo de comorbilidades y/o mortalidad. Las alternativas de tratamiento para los pacientes con apnea no son excluyentes ni únicas, por lo que la aproximación a la misma debe ser multidisciplinaria. El tratamiento se debe de planear en relación con el tipo y la gravedad del trastorno, según la información obtenida de la historia clínica, la exploración física, exámenes paraclínicos, entre otros. En los últimos años, se ha incitado a la búsqueda de otras alternativas de tratamiento que oscilan entre la higiene del sueño y las terapias quirúrgicas, médicas y dentales. Sin embargo, ninguna se compara con la eficacia de la ventilación con presión positiva de aire continuo, la cual se considera como el mejor tratamiento de la AOS, todo lo anterior de acuerdo a Loubé (1999) y Penzel (2001) citados de Arana *et al.* (2011).

Sullivan (1981) citado de Arana *et al.* (2011) comenta que la vía aérea superior de las personas que padecen AOS es susceptible al colapso. Debido a ello, el tratamiento con presión positiva es la opción terapéutica ideal. La ventilación con presión positiva de aire continuo fue desarrollada por él y consiste en una turbina que transmite la presión positiva a la vía aérea superior, impidiendo el colapso durante el sueño. Hoy en día este mecanismo ha evolucionado hasta los sistemas automáticos que tenemos hoy y se han convertido, junto con la pérdida de peso, en los mejores tratamientos ante este tipo de padecimientos, ya que, por otro lado, la disminución de peso (al menos 10%) se ve reflejado en la disminución del número de apneas y micro-despertares, mejorando así, su oxigenación nocturna, lo anterior de acuerdo a Tomás (1999) citado de Arana *et al.* (2011).

#### 2.2.2.2. Cuestionario Epworth

De acuerdo con Sandoval *et al.* (2013) la somnolencia es una de las mayores molestias por las cuales la población busca tratamiento en clínicas de trastornos de sueño, también dice que la somnolencia excesiva diurna es un síntoma de la narcolepsia y de otras hipersomnias. Explica que existen métodos como el de latencias múltiples del sueño, que es ideal para evaluar somnolencia debido a que permite una evaluación objetiva de su severidad, pero que es un método que no se puede desarrollar de manera rutinaria ya que necesita de un laboratorio de sueño, personal especializado y estancia del paciente de cuando menos ocho horas. Es por esto, que se recurre a instrumentos de evaluación subjetiva como lo son los diarios de sueño, por ello ejemplifica la escala de somnolencia Stanford y la escala de somnolencia Epworth, dice que esta última ha adquirido aceptación internacional y en la actualidad se utiliza cotidianamente para evaluar somnolencia, Sandoval *et al.* (2013) destaca los atributos más importantes de esta prueba como lo son su formato breve, la capacidad de distinguir trastornos del dormir caracterizados por somnolencia excesiva, entre otros. Describe el cuestionario como un auto-aplicable de ocho reactivos desarrollado por Johns (1991) para valorar la propensión a quedarse dormido en ocho situaciones, la mayoría de ellas monótonas y algunas más soporíferas que otras, en esta prueba el sujeto o paciente debe de responder a cada pregunta en una escala de 0 a 3, donde 0 significa una nula probabilidad de quedarse dormido y 3 una alta probabilidad. La suma de las respuestas en cada pregunta proporciona una calificación total con un rango entre 0 y 24. Una calificación total menor que 10 es considerada normal, una calificación entre 10 y 12 se considera como indicativa de somnolencia marginal y por arriba de 12 sugestiva de somnolencia excesiva. Este cuestionario posee una consistencia interna aceptable, con coeficientes de 0.73 para sujetos de control y de 0.88 en pacientes con trastornos

de sueño. Por último, es importante señalar que este autor realizó una validación de este cuestionario escala de somnolencia de Epworth en población mexicana, con muy buenos resultados por lo que se empleará dicha adaptación en esta investigación.

#### 2.2.2.3. Cuestionario de Matutinidad y Vespertinidad o “Cronotipo”.

Díaz y Aparicio (2003) sugieren que, desde un punto de vista fisiológico, las personas matutinas y vespertinas tienen diferencias en sus ritmos biológicos, dentro de las variables fisiológicas más estudiadas de estas diferencias se encuentra la temperatura corporal. Las personas matutinas tienen su pico máximo de temperatura corporal de 1.5 a 3 horas antes que los vespertinos. En cronobiología, una característica de las diferencias individuales especialmente importante es el estudio de la preferencia subjetiva hacia la matutinidad y vespertinidad, lo anterior de acuerdo a Adan y Almirall (1990). También comentan que se realizó un cuestionario de “Matutinidad y Vespertinidad” en lengua inglesa por Horne y Östberg (1976) que estaba compuesto por 19 preguntas referentes a los hábitos en horas de acostarse y levantarse, los intervalos horarios que se prefieren para realizar actividades intelectuales o físicas, además de la alerta subjetiva a distintos momentos del día. Los sujetos o pacientes se clasifican de mayor a menor calificación en matutinos (M-tipos), intermedios o ningún tipo (N-tipos) y los vespertinos (V-Tipos). Este cuestionario ha sido adaptado y estandarizado en distintos países e incluso los mismos Adan y Almirall (1989) realizaron una versión española. Además, desarrollaron y estandarizaron para la población española una escala reducida del cuestionario de “Matutinidad y Vespertinidad” de 5 reactivos en comparación del original de 19, encontraron que las 5 preguntas presentan correlaciones favorables y altamente significativas, es por esta razón que se tomó este cuestionario para las pruebas a realizar en esta investigación.

#### 2.2.2.4. Cuestionario Escala de somnolencia Karolinska

La escala de somnolencia de Karolinska se generó bajo el concepto de que ciertos accidentes y catástrofes estaban relacionados con la somnolencia y que debido a esto era necesario establecer un método de medición del nivel de somnolencia en la población, lo anterior de acuerdo con Laverde (2015), mismo que describe la escala de somnolencia de Karolinska como una herramienta que cuestiona acerca del estado de somnolencia del paciente al momento de responder, ofreciendo originalmente 5 posibles respuestas de la siguiente manera: “extremadamente alerta (extremely alert)” (puntaje=1), “alerta (alert)” (puntaje=3), “ni alerta ni somnoliento (neither alert not sleepy)” (puntaje=5), “somnoliento pero sin

dificultad para permanecer despierto (sleepy–but no difficulty remaining awake)” (puntaje=7), “extremadamente somnoliento – luchando contra el sueño (extremely sleepy–fighting sleep)” (puntaje=9). Los valores entre estas opciones tuvieron un valor en la escala, pero no un nivel verbal. Rubio (2003) describe a la escala de somnolencia Karolinska como una pregunta sobre cómo percibe la somnolencia el paciente, también la describe como una escala numérica, de 0 a 9, con ayuda de expresiones verbales. Un estudio interesante fue el realizado por Pulitov & Donskaya (2013) donde realizaron una construcción y validación de electroencefalogramas análogos de la escala de somnolencia Karolinska. Es importante mencionar que Laverde (2015) realizó una validación al español con buenos resultados para la población de Colombia, misma que se tomó como parte de los cuestionarios a aplicar para esta investigación.

#### 2.2.2.5. Prueba de Vigilancia Psicomotora (PVT)

Basner *et al.* (2011) explica que las evaluaciones objetivas y cuantitativas son necesarias para evaluar la presencia de fatiga, déficits relacionados y al desarrollo de estrategias para mitigar la fatiga, esto debido a que los reportes propios de somnolencia y las auto-evaluaciones de capacidad de funcionamiento han mostrado que no son del todo confiables. Conforme a esto, dice que las pruebas de neuro-comportamiento para evaluación de fatiga no solo necesitan ser conceptual y operacionalmente validas, confiables, sensitivas, generalizables, específicas y fáciles de usar, sino también lo suficientemente breves para ser aceptadas por la población objetivo. También explica que muchas pruebas de funcionamiento han sido desarrolladas para evaluar objetivamente el grado de deterioro del funcionamiento cognitivo relacionado con la pérdida de sueño y que, de estas pruebas, la Prueba de Vigilancia Psicomotora (Psychomotor Vigilance Test, PVT) es la más usada. Esta prueba está basada en el Tiempo de Reacción (TR) a estímulos que ocurren en intervalos aleatorios y por lo tanto es una medida del estado de vigilancia. Las pruebas de tiempo de reacción auditiva y visual han sido usadas desde finales del siglo 19 en investigaciones sobre el sueño, pero la prueba PVT en su versión de 10 minutos de duración con un Intervalo de Inter-estímulos Aleatorios (IIA) entre 2 y 10 segundos fue propuesta por Dingus y Powell en 1985 y ha probado ser muy sensitiva a los casos de total privación de sueño y a los casos de parcial privación de sueño. Basner *et al.* (2011), desarrolló una versión más corta de 3 minutos y un IIA de 2 a 4 segundos, con el fin de hacerla más práctica para que, como él mismo describió, fuera aceptada por distintas poblaciones objetivo sin complicaciones. Esta variante desarrollada obtuvo de manera general muy buenos resultados en comparación con la prueba original, por lo que se empleó en las pruebas de esta investigación, cabe mencionar que es la más importante ya que a través de

ella se obtiene la variable respuesta con la que se estimó el modelo de este estudio. Caldwell *et al.* (2003) Investigó como la postura del cuerpo afecta la actividad de los electroencefalogramas y el funcionamiento de la prueba PVT en sujetos privados de sueño y comprobaron que sí existe una diferencia significativa entre si el sujeto se encuentra parado realizando la prueba a si se encuentra sentado, teniendo mayor porcentaje de reacción aletargada para la postura sentada, por ello es que la prueba se aplicó a la población objetivo en postura sentada. Davis *et al.* (2016) hizo una comparación del funcionamiento de la prueba PVT contra una nueva versión de la prueba, pero para uso con ratas y los resultados demostraron la efectividad de esta nueva versión. Gorgoni *et al.* (2014) desarrolló una investigación en donde vinculó los cambios en encefalogramas (mapeo cerebral) con respecto al funcionamiento de la prueba PVT en una población privada de sueño, obteniendo buenos resultados de correlación a favor de dicha prueba, fortaleciendo la validación de la misma como una herramienta útil para evaluar el efecto de la pérdida de sueño. Por ultimo Matthews *et al.* (2015) realizó una investigación similar a la de Barner *et al.* (2011) pero en este caso, en lugar de variar el tiempo de duración de la prueba, variaba el IIA con el fin de maximizar la sensibilidad de la misma, encontrando de la misma manera que los intervalos de inter-estímulos tienen un efecto mejor cuando son más pequeños que el original de 9 a 10 segundos. Es por ello que se toma la decisión de aplicar la prueba PVT de duración de 3 minutos (PVT-B) para esta investigación.

### 2.2.3. Estudios y dispositivos de Somnolencia en el transporte.

De acuerdo a Romero *et al.* (2004) la fatiga al conducir se trata de un fenómeno complejo, que implica disminuciones en los niveles de alerta y conciencia por parte del conductor. Esta situación conlleva a la ocurrencia accidentes. El cansancio mental, como el cansancio físico, provoca un adormecimiento en el conductor, y constituye un factor de riesgo para los accidentes, estimándose como causa en al menos el 24 % de ellos. También estipula que la fatiga ha recibido diversas acepciones y definiciones, que se han ido transformando y/o evolucionando conforme el índice de conocimiento sobre las causas y síntomas de su existencia. De este modo, se ha manejado la idea de fatiga mental en la que no se implica un estado de cansancio físico. La fatiga física también se ha identificado como resultado de aspectos biológicos, mientras que por otro lado la fatiga mental como una combinación con cuestiones físicas que ponen en peligro la seguridad vial. Aunque, el efecto final de cualquier tipo de fatiga consiste en la reducción de los estados de alerta, que al final se presentan en somnolencia al manejar.

FMCSA (1996) citado de Romero *et al.* (2004) identifica a la fatiga o cansancio extremo del conductor como un elemento de constante presencia en el análisis de accidentes y que además está estrechamente relacionada con los aspectos socioeconómicos del transporte. El *National Transportation Safety Board* (1995) declaró que en los accidentes en Estados Unidos entre los años 1991 y 1993, la somnolencia alcanzó un alto porcentaje de ellos (del 30 al 40%). Debido a estas cifras, la fatiga en el conductor ha sido reconocida desde entonces como el asunto de mayor relevancia en lo que se trata a la seguridad vial según Wylie (2000) citado por Romero *et al.* (2004).

Wylie *et al.* (1998) citado por Romero *et al.* (2004) expresa que la fatiga representa una alteración en los niveles de percepción y conciencia del conductor, misma que afecta procesos psicomotores que son cruciales para manejar de una manera segura. Y Kaur (1999) establece que la fatiga es producto de causas tales como un excesivo número de horas de servicio, un déficit de horas de sueño, manejo nocturno y tener horarios irregulares de trabajo-descanso Romero *et al.* (2004).

La fatiga es un fenómeno extremadamente complejo de analizar, debido a que son muchos los factores que intervienen. La somnolencia es uno de los efectos más notables de la fatiga, aunque no es la única manifestación. La fatiga es altamente peligrosa porque puede suceder sin somnolencia y sin tener conciencia el conductor acerca de la disminución de sus capacidades de manejar de manera segura.

La somnolencia es por lo general subestimada por los operadores, según Wylie (1998) citado por Romero *et al.* (2004), se ha encontrado que la fatiga es en parte una experiencia subjetiva, que se caracteriza por la falta de motivación, percepciones de incomodidad y de aburrimiento, lo que induce a una resistencia a seguir manejando, por lo tanto, afectando la atención que el conductor presta a su labor y a una correcta toma de decisiones.

#### 2.2.3.1. Estudios de la fatiga de conductores.

Debido a la importante relación detectada entre la accidentalidad y la fatiga en el conductor, surgieron una gran cantidad de estudios con la perspectiva de reducir la enorme pérdida de recursos económicos ocasionados por los accidentes, así también los padecimientos y sufrimientos humanos, lo anterior de acuerdo con Veeraraghavan (2001). Taoka (1998) declara que el aspecto que es más atendido en las investigaciones es la búsqueda de correlaciones entre el desempeño de manejo del conductor y la fatiga, caracterizando distintos

niveles, comprendiéndose como estados que eventualmente conducen a la pérdida de conciencia.

La detección del nivel de fatiga ha tenido distintos enfoques que combinan las características de conducción del vehículo con aquellos del comportamiento psico-fisiológico del conductor. En el estudio del comportamiento fisiológico del conductor destaca el monitoreo de los ojos en cuanto a periodos de apertura y cerrado, frecuencia y velocidad de parpadeo, caída potencial de los parpados, así también el movimiento, es decir, dinámica ocular, lo anterior de acuerdo al NHTSA (1998) citado por Romero *et al.* (2004). Como elementos de monitoreo de la fisiología del conductor por lo general se consideran las siguientes:

- Expresión facial
- Caída de los parpados
- Tono muscular de la cara
- Flujo respiratorio
- Saturación de oxígeno en el flujo sanguíneo arterial
- Temperatura corporal
- Electrocardiografía durante el manejo y el descanso

Algunos otros estudios se han orientado a detectar niveles de fatiga con base en la posición de la cabeza del conductor, al estudio de sistemas para el fomento de niveles de alerta altos, entre otros.

#### 2.2.3.2. Tecnologías de prevención y detección de la fatiga en la conducción.

De acuerdo con Romero *et al.* (2004) las tecnologías relacionadas con la prevención y detección de la fatiga en conductores constituyen elementos de seguridad activa de los vehículos, los cuales pretenden prevenir la ocurrencia de accidentes. Algunos otros elementos de seguridad activa se refieren al diseño óptimo de los vehículos con respecto a estabilidad direccional y manejabilidad, a la detección de situaciones cercanas a la volcadura y a sistemas inteligentes que realizan prevención de colisiones. Los desarrollos tecnológicos que tienen relación con la fatiga en el conductor u operador al volante se caracterizan de acuerdo con los siguientes objetivos:

- Prevención de la fatiga.
- Detección de la fatiga.
- Prevención de accidentes debidos a fatiga.

La Figura 2.1 muestra los tipos de equipos que se han desarrollado.

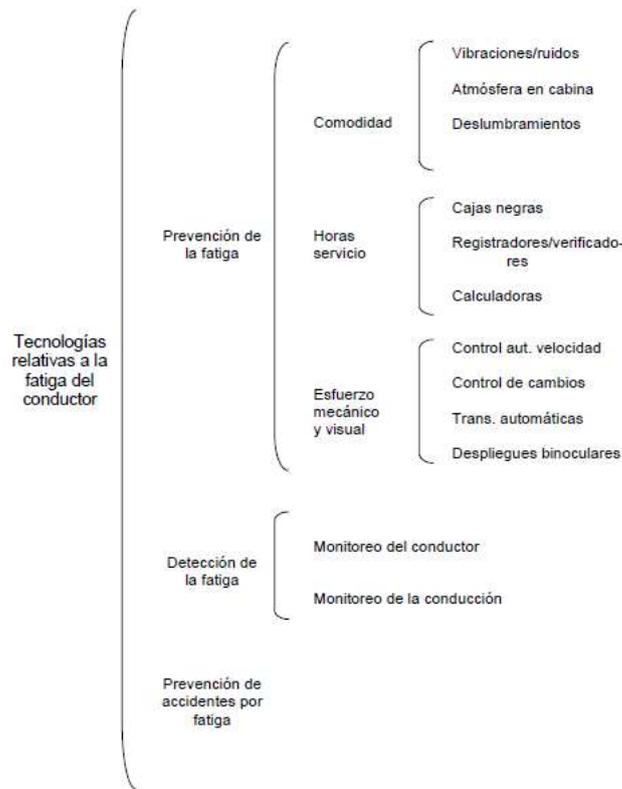


Figura 2.1: Clasificación de las tecnologías relativas a la fatiga del conductor. Fuente: Romero et al. (2004).

#### 2.2.4. Estudios sobre somnolencia realizados en México.

En México, se han realizado estudios como el realizado por Romero *et al.* (2004), donde hacen un recuento de las tecnologías que se contaban hasta ese momento para detección y prevención de somnolencia, así como un caso de estudio que pretendía vincular la fatiga o somnolencia como causal de una muestra de 40 incidentes de vehículos, propiedad de una empresa nacional y en la zona centro del país. Si bien, en el estudio detectan la fatiga como un factor contribuyente a los percances, no hay desarrollo de tecnologías o métodos de detección propios del Instituto Mexicano del Transporte, donde se llevó a cabo el estudio.

Por otra parte, respecto a estudios que relacionan las horas de servicio de conducción y el desarrollo de fatiga o somnolencia, México recientemente desarrolló, a través de la Dirección General de Protección y Medicina Preventiva en el Transporte (DGPMP) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la Norma Oficial Mexicana NOM-087-SCT-2017 (NOM-087) que establece los tiempos de conducción y pausas para conductores de los servicios de Autotransporte Federal. Esta norma toma en cuenta aspectos del Convenio Internacional del Trabajo No. 153 sobre la Duración del Trabajo y Periodos de Descanso en

los Transportes de Carretera, ratificado el 10 de febrero de 1982 y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de mayo de 1982. El objetivo de la NOM-087 es el establecer el tiempo máximo de horas de servicio, el tiempo diario de conducción, el periodo mínimo de descanso diario, tiempo máximo semanal de horas de conducción y las sanciones respectivas en caso de incumplimiento de la misma. En relación con los aspectos anteriores, los resultados de esta investigación apoyarán al mejoramiento de lo plasmado en dicha normativa.

#### 2.2.5. Relación horas de conducción y desarrollo de fatiga.

Otro aspecto importante a destacar, es la relación entre las horas de manejo con el desarrollo de somnolencia. Atendiendo esta temática se han realizado estudios como el de Rey *et al.* (2004) en el que se hace un análisis cuantitativo a conductores de una empresa de transporte de pasajeros con el objetivo precisamente de comprobar esta relación entre las horas continuas de manejo y el desarrollo de fatiga o somnolencia. En este mismo sentido, otros autores como Sparrow *et al.* (2016) realizaron un estudio de campo sobre las horas de descanso en conductores de vehículos comerciales en los Estados Unidos, y su relación con el manejo y el desarrollo de fatiga o somnolencia. Otros autores como Chen Chen y Xie Yanchang (2014) se dieron a la tarea de la creación de un modelo de regresión logística, que evalúa que tan buenos son estos descansos y su relación con la reducción de fatiga o somnolencia. Otro estudio muy importante, es el realizado por Mansfield y Kryger (2015) que investigaron la regulación de horas de servicio de conducción en autopistas de distintos países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Reino Unido, con el fin de comparar, evaluar y puntualizar deficiencias en estas regulaciones con el objetivo de incentivar la creación de mejores reglas o normativas que protejan mejor a la población y al conductor de transporte de carga en dichos países, situación que esta investigación pretende emular en México.

#### 2.2.6. Norma Oficial Mexicana NOM-SCT-087-2017.

La NOM-087 que establece los tiempos de conducción y pausas para conductores de los servicios de Autotransporte Federal indica que todo conductor deberá realizar una pausa de 30 minutos cuando:

- Ha conducido hasta cinco horas continuas, o bien;
  - Esta pausa podrá distribuirse durante un lapso de cinco horas y media de acuerdo a las condiciones del viaje.
  - Los periodos de pausa, en ningún caso podrán ser acumulables.

Durante todo el tiempo de conducción, el conductor debe portar la Bitácora de Horas de Servicio y exhibirla a la autoridad competente cuando le sea requerida.

Para el caso de los permisionarios del transporte de pasaje y turismo están obligados a considerar un segundo conductor cuando:

- El tiempo de viaje entre el punto de origen y destino excedan las 9 horas y en caso de no contar con un segundo conductor deberán apearse a las horas máximas de servicio de cinco horas y periodos de descanso de media hora, citados anteriormente.

En el autotransporte de carga, deben organizarse los viajes considerando lo siguiente:

- En viajes que impliquen una conducción máxima de 14 horas, el conductor debe de tener una pausa no menor de 8 horas continuas, sin menoscabo de cumplir con las pausas mínimas de media hora cuando se hayan conducido cinco horas, citadas anteriormente.

Esta investigación pretende como objetivo secundario, apoyar a que se establezcan los periodos de conducción-descanso idóneos en la norma, ilustrando y recomendando por medio de los resultados obtenidos dichos periodos.

## 2.3. MODELOS DE REGRESIÓN

### 2.3.1. Descripción de los modelos de regresión

Hosmer y Lemeshow (2000) expresan que los métodos de regresión se han convertido en un componente integral de cualquier análisis de datos donde se necesite describir la relación entre una variable dependiente y una o más variables independientes. Sobre las últimas décadas los modelos de regresión logística se han convertido, en muchos campos, en el método estándar de este tipo de situaciones. Lo que distingue un modelo de regresión logística de un modelo de regresión lineal, es que la variable respuesta en la regresión logística es binaria o dicotómica, mientras que en la lineal puede adoptar cualquier valor. Esta diferencia entre la regresión lineal y logística se ve reflejada en la elección de un modelo paramétrico y en los supuestos.

Algunos tipos de modelos de regresión, según establece Obregón *et al.* (2015), se caracterizan por ser expresiones matemáticas que se pueden graficar en curvas con forma de “S”, como lo son los modelos Logit, Probit, Gompit, entre otros; sin embargo, debido a una estimación más sencilla, la transformación Logit es una de las más empleadas. Ben-Akiba y

Lerman (1985) citados por Obregón *et al.* (2015) establecen que el modelo Probit binario es razonable, pero que tiene una desventaja con respecto a los demás debido a que no posee una forma cerrada y a que su probabilidad de elección se expresa como una integral. La Ecuación 1, de acuerdo con Ortuzar y Willumsen (2011), muestra la forma estándar del modelo Probit.

$$P_1 = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{V_1 - V_2 + x_1} \frac{\exp \left\{ -\frac{1}{2(1 - \rho^2)} \left[ \left( \frac{x_1}{\sigma_1} \right)^2 - \frac{2\rho X_1 X_2}{\sigma_1 \sigma_2} + \left( \frac{X_2}{\sigma_2} \right)^2 \right] \right\}}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{(1 - \rho^2)}} dx_2 dx_1 \dots \dots \dots (1)$$

### 2.3.2. Modelo Logit y modelo Logit multinomial.

Ortuzar y Willumsen (2011) mencionan que la complejidad de la integral del modelo Probit, fue la que propició y motivó la búsqueda de un modelo de elección más sencillo y simple de analizar, lo que tuvo como resultado la creación del modelo Logit binario. La probabilidad de elección de la alternativa *i* bajo el supuesto de que  $\varepsilon_n$  se distribuye logísticamente, está dada por la Ecuación 2 que se presenta a continuación:

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_{in} - V_{jn})}} \dots \dots \dots (2)$$

Washington *et al.* (2011) citado por Obregón *et al.* (2015) dice que la regresión logística tiene como objetivo, al igual que la lineal, identificar un modelo bien ajustado que sea defendible y que describa la relación entre un conjunto de variables independientes o explicativas con una variable dependiente binaria.

Ben-Akiba y Lerman (1985) citados Obregón *et al.* (2015) establecen que el objetivo de estimar un modelo Logit multinomial es el obtener una función que determine las probabilidades como resultado en un conjunto de dos o más alternativas. Este modelo no permite más de una observación proveniente del mismo sujeto, ni tampoco el tratar la heterocedasticidad. La Ecuación 3 muestra la forma estándar del modelo Logit Multinomial.

$$P_n(i) = \frac{\exp(\beta_i X_{in})}{\sum \forall I \exp(\beta_i X_{in})} \dots \dots \dots (3)$$

### III. METODOLOGÍA.

En la Figura 3.1 se muestran los pasos metodológicos de esta investigación para desarrollar el modelo de regresión para predicción de somnolencia que se pretende.

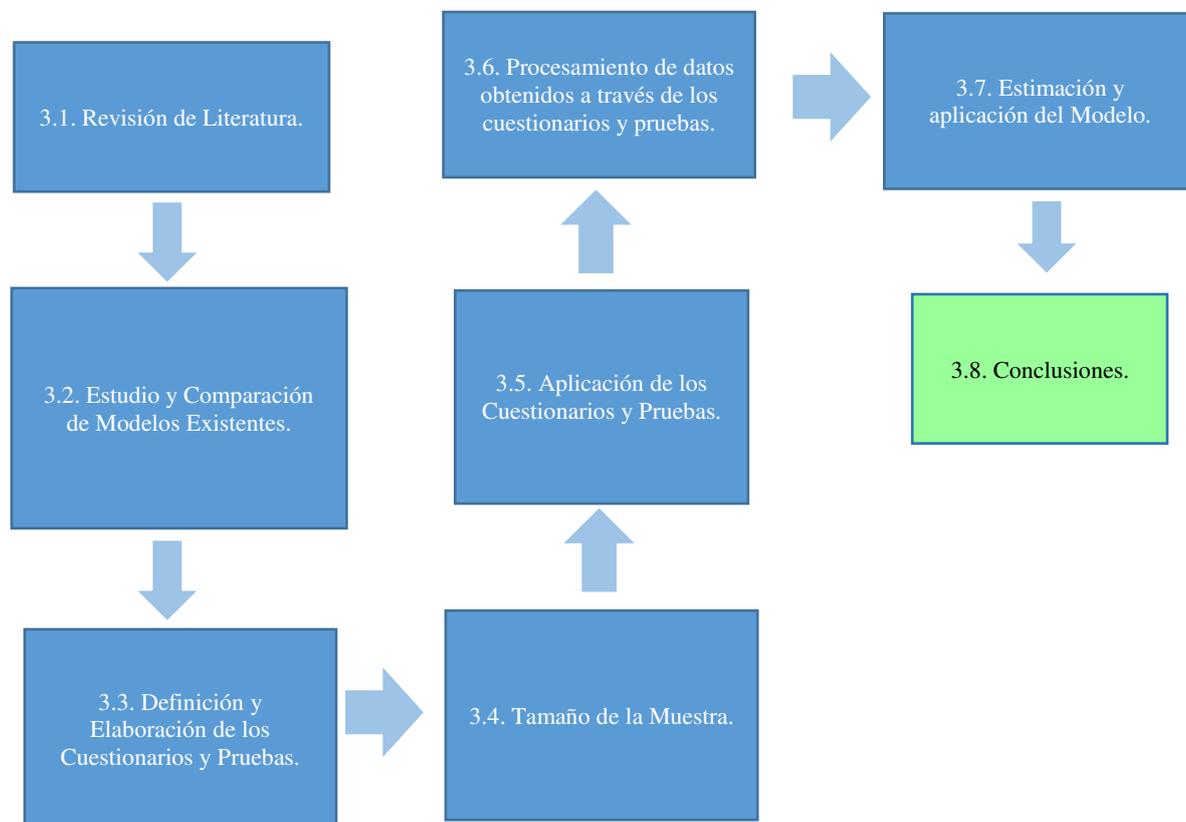


Figura 3.1: Pasos metodológicos para realización de la investigación.

#### 3.1. Revisión de la literatura.

En esta etapa se realiza una revisión literaria exhaustiva de los métodos, técnicas, tecnologías de detección y diagnóstico, así como también de modelos de predicción de somnolencia existentes. Lo anterior con la finalidad de saber cuáles son las variables que contemplan e intervienen en estas pruebas y modelos, de esta manera, en la siguiente etapa por medio de una comparación se desarrollan y establecen las bases del modelo a estimar.

#### 3.2. Estudio y comparación de los modelos existentes.

Esta etapa consiste de una comparación de lo encontrado en la etapa anterior. Se estudian las pruebas, métodos y modelos más destacados de los existentes recopilados y con ellos se realiza una comparación de las características, funcionamiento, comodidad, complejidad y susceptibilidad a agentes externos, es decir, fortalezas y debilidades de cada uno

de estos modelos, así como también, los enfoques y variables que cada uno de éstos poseen. Tal como se describió en la etapa anterior, este análisis y comparación de métodos y modelos tiene la finalidad de proponer las bases del modelo a desarrollar en esta investigación, como lo son las variables, la forma matemática y a su vez las pruebas con las que se obtienen los datos con los que se estima el modelo de predicción.

### 3.3. Definición y elaboración de los cuestionarios y pruebas.

Con base en el análisis y comparación de modelos de la etapa anterior de esta metodología, en esta etapa se definen la forma base del modelo de predicción, las variables que pudieran conformarlo y las pruebas con las cuales se recaban los datos necesarios de las variables propuestas, para usarse en las etapas 3.6 y 3.7 de esta metodología para la estimación del modelo desarrollado.

### 3.4. Tamaño de la muestra.

En esta etapa de la metodología se propone la herramienta estadística utilizada para definir el tamaño de la muestra. La muestra se define de acuerdo a la expresión propuesta por Murray y Larry (2005), mostrada en la Ecuación 4:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2Z^2} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

$n$ = tamaño de la muestra.

$N$ =tamaño de población.

$\sigma$ = Desviación estándar. (Cuando no se tiene su valor se utiliza 0.5)

$Z$ = Nivel de confianza. (Valor queda a criterio del investigador)

$e$ = Error muestral. (1% a 9%)

### 3.5. Aplicación de los cuestionarios y pruebas.

Una vez definidos los cuestionarios, pruebas y el tamaño de la muestra, en esta etapa se lleva a cabo la aplicación de los cuestionarios y pruebas planteadas a los conductores del sector de autotransporte federal objeto de la presente investigación.

### 3.6. Procesamiento de datos obtenidos a través de los cuestionarios y pruebas.

En esta etapa se analizaron los datos obtenidos y recopilados de los cuestionarios y las pruebas realizadas a los sujetos que conforman la muestra, se realizó un análisis estadístico, conociendo los parámetros de cada variable como son la media, desviación estándar, varianza y distribución de probabilidades, apoyándose en programas estadísticos como Minitab, JMP o R.

### 3.7. Estimación y Calibración del modelo.

Una vez realizado el análisis y depuración de los datos de la etapa anterior, se utilizaron estos valores para el desarrollo del modelo Logit de predicción de somnolencia, observando qué variables tienen mayor significancia para los conductores del autotransporte federal, ordenándolas, de acuerdo a su significancia y planteando distintos coeficientes de regresión para la estimación del modelo final. Se realizarán distintos ajustes para calibrarlo, de tal manera que los resultados describan mejor la realidad o suceso “estado somnolencia”, en esta etapa se hizo uso de programas estadísticos como Minitab, JMP o R.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Estudio y comparación de los modelos existentes.

En esta etapa se presenta un análisis y comparación de lo encontrado en la revisión literaria. Se encontró que se ha pretendido dar solución al problema de somnolencia en conductores, mediante el estudio y desarrollo de dispositivos que implementan diversas técnicas para realizar una predicción. Estas técnicas se pueden dividir básicamente en cuatro grupos.

El primero de ellos es el que basa su predicción en el comportamiento del conductor. Al respecto, múltiples investigadores tales como Kircher *et al.* (2002), Torkkola *et al.* (2004), Liu *et al.* (2009), Yang *et al.* (2009), Ersal *et al.* (2010) citados de acuerdo a Jo *et al.* (2013) desarrollaron estudios basando sus dispositivos en esta técnica. Una variación muy destacada a este mismo enfoque o técnica de predicción fue la desarrollada en el estudio de Murata *et al.* (2015) donde no sólo se centra en el comportamiento de manejo del conductor, sino en las interacciones con otras variables del comportamiento del mismo al interior del vehículo, como son el ángulo de cuello, presión proporcionada por la espalda, presión en los pedales y el movimiento del conductor en la superficie del asiento.

Otro de los enfoques basa su predicción en las medidas fisiológicas del conductor, tales como las ondas cerebrales y el ritmo cardiaco. De acuerdo con Jo *et al.* (2013), investigadores tales como Damousis y Tzovaras (2008), Shuyan y Gangtie (2009), Tran *et al.* (2010) y Patel *et al.* (2011) realizaron estudios de predicción de somnolencia mediante este enfoque, otros autores como Borghini *et al.* (2012) y Silveira *et al.* (2016) han realizado estudios más recientes de detección o predicción de somnolencia, basándose en este mismo enfoque, inclusive, el primero de ellos con aplicación en la aviación.

El tercer enfoque basa su predicción en las medidas de la métrica visual u ocular del conductor. Sobre ello, cabe mencionar que en la actualidad esta técnica es la más empleada. Por esta razón una gran cantidad de estudios realizados por autores como Shuyan y Gangtie (2009), Picot *et al.* (2011), Kushaba *et al.* (2013), Aidman *et al.* (2015), Wang y Xu (2015), Jackson *et al.* (2015), Lenné y Fitzharris (2016) realizan sus predicciones y detecciones de somnolencia basando sus dispositivos en mediciones a la métrica ocular.

Un enfoque más reciente, es el desarrollado en el estudio de Solaz *et al.* (2016) donde pretenden detectar la somnolencia mediante el análisis del ritmo de respiración, pero a diferencia de algunos métodos ya existentes e invasivos como el desarrollado por Schumacher (2002) citado por Solaz *et al.* (2016), este autor pretende realizar el análisis del ritmo de respiración de manera no invasiva, por medio de reconocimiento en tiempo real de imágenes a través de una cámara. Hasta el momento ha realizado el estudio de posicionamiento idóneo de la cámara, así como, la comparación de resultados entre el ritmo de respiración detectado por su método no invasivo con respecto de los invasivos, pudo constatar la validez de sus resultados y actualmente se encuentra en búsqueda del algoritmo de predicción de somnolencia.

Es importante mencionar también autores como Schömig *et al.* (2015), que realizó estudios en los que evalúa y compara las metodologías similares a las utilizadas por los autores anteriormente citados, así como a Jo *et al.* (2013) por realizar una fusión de técnicas con la finalidad de una mayor precisión en la predicción. Se encontraron algunos modelos que destacan de los anteriores citados, en la Tabla 1, se muestran las características, así como también las fortalezas y debilidades de cada uno de estos modelos.

Tabla 4.1. Fortalezas y Debilidades de Distintos Modelos de Análisis Destacados para Predicción de Somnolencia.

Modelos de Análisis	Descripción del método	Fortalezas (Ventajas)	Debilidades (Desventajas)	Autor o Autores.
<p>Basado en Medidas de Comportamiento del Conductor.</p>	<p>Este modelo basa su predicción de somnolencia en mediciones de comportamiento del conductor por medio de una serie de sensores incorporados al asiento y al pedal del vehículo. Contemplando variables como las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamiento de manejo del conductor.</li> <li>• Presión en el respaldo.</li> <li>• Presión del pie en el pedal.</li> <li>• Ángulo del cuello (Vertical y Horizontal).</li> <li>• Movimiento en la superficie del asiento.</li> </ul> <p>A través de las variables anteriores se desarrolla el modelo de predicción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo NO invasivo, ya que sus dispositivos recolectores de datos se encuentran en el asiento y pedal.</li> <li>• Correlación entre sus distintas variables para la estimación del modelo.</li> <li>• Alta precisión de predicción muy semejante a las arrojadas por medidas fisiológicas.</li> <li>• Costo bajo de sus dispositivos recolectores de datos.</li> </ul>	<p>Debido al número elevado de variables se torna difícil su análisis.</p>	<p>Murata <i>et al.</i> (2015).</p>

<p>Basados en Medidas Fisiológicas.</p>	<p>Estos modelos basan su predicción de somnolencia en medidas fisiológicas por medio de electrodos situados en la superficie del cuero cabelludo, pecho y músculos. Tomando las siguientes mediciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ritmos alfa.</li> <li>• Ritmos beta.</li> <li>• Ritmos delta.</li> <li>• Actividad theta.</li> <li>• Ritmo cardiaco.</li> </ul> <p>A través de las variables anteriores se desarrolla el modelo de predicción.</p>	<p>Una ligera pero mayor precisión, debido a que se está en contacto directo con el conductor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los dispositivos para la toma de mediciones son invasivos y esto puede ocasionar molestias e incomodidad al conductor.</li> <li>• Las mediciones tomadas por los electrodos tienen un grado de complejidad de interpretación (Se requieren especialistas).</li> <li>• Alto costo de los dispositivos.</li> </ul>	<p>Borghini <i>et al.</i> (2012). Silveira <i>et al.</i> (2016).</p>
<p>Basado en Medidas de la Métrica Visual.</p>	<p>Este modelo basa su predicción de somnolencia en mediciones de la métrica visual por medio de una cámara adaptada al vehículo. Tomando las siguientes mediciones como variables:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apertura de parpado.</li> <li>• Velocidad de parpadeo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo NO invasivo debido a que el dispositivo que utiliza para tomar las mediciones es una cámara situada frente al conductor.</li> </ul>	<p>En algunas condiciones específicas de exceso de luz, ausencia de luz e incluso temperatura se pueden llegar a tomar datos incorrectos y con ello falsas predicciones.</p>	<p>Wang y Xu (2015). Lenné y Fitzharris (2016).</p>

	A través de las variables anteriores se desarrolla el modelo de predicción.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena precisión de predicción.</li> <li>• Costo no elevado del dispositivo.</li> </ul>		
Basado en Medidas del Ritmo de Respiración.	<p>Este modelo basa su predicción de somnolencia en mediciones al ritmo de respiración por medio de una cámara adaptada e incorporada al vehículo. Contemplando las siguientes variables para su predicción:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ritmo del movimiento de respiración del pecho del conductor.</li> <li>• Ritmo del movimiento de respiración del abdomen del conductor.</li> </ul> <p>A través de las variables anteriores se desarrolla el modelo de predicción</p>	Al utilizar una cámara para la recolección de datos, se trata de un dispositivo NO invasivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En algunas condiciones específicas de exceso de luz, ausencia de luz e incluso temperatura se pueden llegar a tomar datos incorrectos y con ello falsas predicciones.</li> <li>• Aún se encuentra en fase de prueba y en desarrollo de su modelo y algoritmo.</li> </ul>	Solaz <i>et al.</i> (2016).

Como resultado del análisis de los modelos presentados en la Tabla 1, resaltan los modelos que basan su predicción en mediciones directas sobre el conductor, por ser más precisos, como la medición de variables de tipo fisiológicas empleadas por autores como Borghini *et al.* (2012) y Silveira *et al.* (2016); sin embargo la principal desventaja de estos modelos es que requieren dispositivos invasivos para la toma de datos, como los electrodos, que tienen un mayor grado de complejidad para su interpretación y se requiere equipo y personal especializado para su aplicación. De igual forma, el modelo basado en la medición de la métrica visual reporta buena precisión en las predicciones, pero su costo de aplicación es muy elevado para ser implementado en el presente estudio.

De los dos modelos restantes se observa que comparten ventajas ya que ambos son no invasivos, confiables y de fácil y económica aplicación; destacando el desarrollado por Murata *et al.* (2015), con el empleo novedoso de un modelo de regresión logística para predicción de somnolencia subjetiva y los otros modelos por sus variables fisiológicas o de la fisionomía del conductor tomadas de manera no invasiva como en el estudio de Solaz (2016).

La elección del tipo de modelo que se emplea como base para esta investigación, corresponde a una combinación del modelo de regresión logística empleado por Murata *et al.* (2015) y las variables de la fisionomía y comportamiento del conductor con respecto a su relación horas de manejo y descanso, obtenidas de manera no invasiva por medio de cuestionarios y pruebas, como son STOP-BANG, Epworth, Matutinidad-Vespertinidad, prueba PVT-B y escala de somnolencia Karolinska.

#### 4.2. Definición, elaboración de cuestionarios y tamaño de muestra.

Con base en el análisis y comparación de modelos que se realizó en la etapa anterior, se definió la forma base del modelo de esta investigación, que se tratará de un modelo de regresión logística o también comúnmente llamado Logit, por la naturaleza del fenómeno que se está tratando de predecir y su similitud con el modelo en que ambos poseen dos tipos de resultados, es decir, se tiene o no se tiene somnolencia y la probabilidad del modelo se traduce en un resultado afirmativo o negativo, es decir, sí o no. Se plantean también las variables del modelo, las cuales son una combinación de comportamiento y de fisionomía

del conductor, como por ejemplo las horas de manejo continuo, horas de descanso, si el conductor ronca cuando duerme, si padece de presión arterial alta, su índice de masa corporal IMC, edad, ancho de cuello, entre otras. Los cuestionarios y pruebas seleccionados son los siguientes:

- Cuestionario STOP-BANG.
- Cuestionario STOP-BANG-Conductores del Autotransporte Federal.
- Cuestionario Epworth.
- Cuestionario de Matutinidad y Vespertinidad.
- Prueba PVT-B (Psychomotor Vigilance Test) “Versión 3 minutos”.
- Cuestionario escala de somnolencia Karolinska.

A continuación, se describen brevemente en qué consisten los cuestionarios y pruebas aplicados:

- El cuestionario “STOP-BANG” consta de 8 preguntas sencillas relacionadas al comportamiento y fisionomía del conductor, este cuestionario tiene la finalidad de detectar el riesgo de padecer Apnea Obstructiva del Sueño (AOS).
- El cuestionario “STOP-BANG-Conductores del Autotransporte Federal” es una variante propuesta en esta investigación, con preguntas adicionales a las 8 habituales del “STOP-BANG”, dirigidas a conocer los hábitos de conducción y tiempo de descanso de los conductores del autotransporte federal; buscando determinar las condiciones de trabajo a las que están sujetos con la finalidad de detectar las rutas más frecuentes, distancias recorridas, hábitos de descanso y alimentación.
- El cuestionario Epworth consta de 8 preguntas vinculadas a la predisposición del usuario a quedarse dormido, en este caso de los conductores del autotransporte federal, esto con el fin de saber si el usuario padece de Somnolencia Excesiva Diurna (SED).
- El cuestionario de “Matutinidad-Vespertinidad” o también conocido como “Cronotipo” está conformado por 5 reactivos orientados a determinar cuál es la tendencia habitual del sujeto a ser matutino o vespertino.

- La prueba “PVT-B” aplicada a la población de conductores del autotransporte federal es una versión corta pero significativa de 3 minutos de la prueba original PVT con duración de 10 minutos. Mediante esta prueba se obtuvieron datos de suma importancia (tiempos de reacción) para estimar el modelo de predicción. La prueba consiste en colocar al sujeto de prueba (conductor del autotransporte federal) frente a una pantalla de computadora y se le somete a un ambiente monótono y a un estímulo, que se trata de un punto rojo en la pantalla, al cual tendrá que reaccionar el sujeto presionando un botón de la computadora, todo esto con la finalidad de recopilar sus tiempos de reacción (TR), mismos que clasifican el estado de alerta del sujeto en los siguientes estados: Muy rápido ( $TR \leq 150$  milisegundos), Correcto ( $150 \text{ milisegundos} < TR \leq 500$  milisegundos), Aletargado ( $500 \text{ milisegundos} < TR \leq 30,000$  milisegundos) y Ataque de sueño ( $TR > 30,000$  milisegundos). Estos resultados de la prueba “PVT-B” corresponden a la variable respuesta, es decir, a la variable dependiente. Los datos serán recopilados para su posterior análisis y procesamiento para la estimación del modelo de predicción de somnolencia.
- Por último, el cuestionario escala de somnolencia “Karolinska” se trata precisamente de una escala de nueve estados que mide de manera subjetiva el estado en que se auto-percibe el sujeto (conductor del autotransporte federal) en términos de somnolencia, esta escala se liga estrechamente con la prueba PVT-B, debido a que se complementan por brindar una evaluación subjetiva por parte de la escala Karolinska y una evaluación objetiva por parte de la prueba PVT-B. Los nueve estados en los que se cataloga a cada conductor son:
  1. Extremadamente despierto
  2. Muy despierto
  3. Despierto
  4. Más o menos despierto
  5. Ni despierto, ni somnoliento
  6. Algunos signos de somnolencia
  7. Somnoliento, pero sin esfuerzo para mantenerse despierto
  8. Somnoliento, algún esfuerzo para mantenerse despierto

9. Muy somnoliento, gran esfuerzo para mantenerse despierto, luchando contra el sueño.

Todos los cuestionarios se aplicarán durante la misma entrevista a cada uno de los sujetos, siendo importante aplicar la escala de somnolencia Karolinska inmediatamente después de la prueba PVT-B.

#### 4.3. Tamaño de la muestra.

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la Ecuación 4 considerando los siguientes parámetros:

- Tamaño de la población: se estimó con base en el Transito Diario Promedio Anual (TDPA) de una de las carreteras más transitadas del país, por la cual se mueve aproximadamente el 40% de la carga a nivel nacional por ser parte del Corredor México-Nuevo Laredo. Se consideró el TDPA de la carretera México-Querétaro proyectado a 10 años utilizando el método de tasas de crecimiento del modelo matemático de crecimiento lineal, del dato reportado para 2016, que corresponde a 26,222 vehículos, con una tasa de crecimiento del PIB de 2.6% de acuerdo a estimaciones del banco mundial para 2019. *El tamaño de la población es de 33,921 conductores.*
- Desviación estándar: Debido a que no se cuenta con información real de la distribución, y de acuerdo con la Ecuación 4, se utilizó una *desviación estándar de 0.5.*
- Nivel de confianza: *el valor de confianza considerado es del 95%.* Este valor se toma a elección al igual que el error muestral, y corresponde a que tan representativa se desea la muestra y a la disponibilidad de los datos a tomar o de la población misma, es decir que, si la disponibilidad de los datos no es buena, se pueden reducir o aumentar estos porcentajes para tener así un tamaño de muestra más razonable y a su vez representativo.
- Error muestral: debido a la carencia de datos reales mencionada anteriormente, se consideró un *error muestral* medio, que corresponde a 5%.

Sustituyendo los valores anteriores en la Ecuación 4, se obtiene un *tamaño de la muestra de 90 sujetos*.

#### 4.4. Aplicación de los cuestionarios y pruebas.

Para aplicar los cuestionarios y pruebas de manera ordenada, se definieron tres poblaciones de estudio:

- Población de conductores de automóviles (cuya actividad profesional no es la conducción): esta es la población de control, que será la base para hacer las comparaciones de la población en general contra la población objetivo de este estudio (conductores de autotransporte federal: pasajeros y carga).
- Población de conductores de transporte de pasajeros (conductores profesionales del autotransporte federal): este es el primer grupo objeto de este estudio.
- Población de conductores de camiones de carga (conductores profesionales del autotransporte federal): segundo grupo de estudio.

De acuerdo con el tamaño de la muestra definido anteriormente, se planteó la aplicación de los cuestionarios y pruebas a 90 sujetos, distribuidos equitativamente para cada población definida.

Una vez que se definieron los cuestionarios, pruebas y el tamaño de muestra, se procedió a la aplicación los cuestionarios y la prueba en las poblaciones planteadas. A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada uno de los cuestionarios y para cada población, iniciando con la población de control (conductores de automóviles), seguido de la población de conductores de transporte de pasajeros y finalmente la población de conductores de camiones de carga.

##### 4.4.1. Cuestionario “STOP-BANG”

El cuestionario “STOP-BANG” consta de 8 preguntas sencillas relacionadas al comportamiento y fisionomía del conductor, estas preguntas se aplicaron con la finalidad de detectar el riesgo de padecer AOS. La Figura 4.1 muestra los porcentajes de sujetos de la

población de conductores de automóviles por tipo de riesgo de padecer apnea obstructiva de sueño.

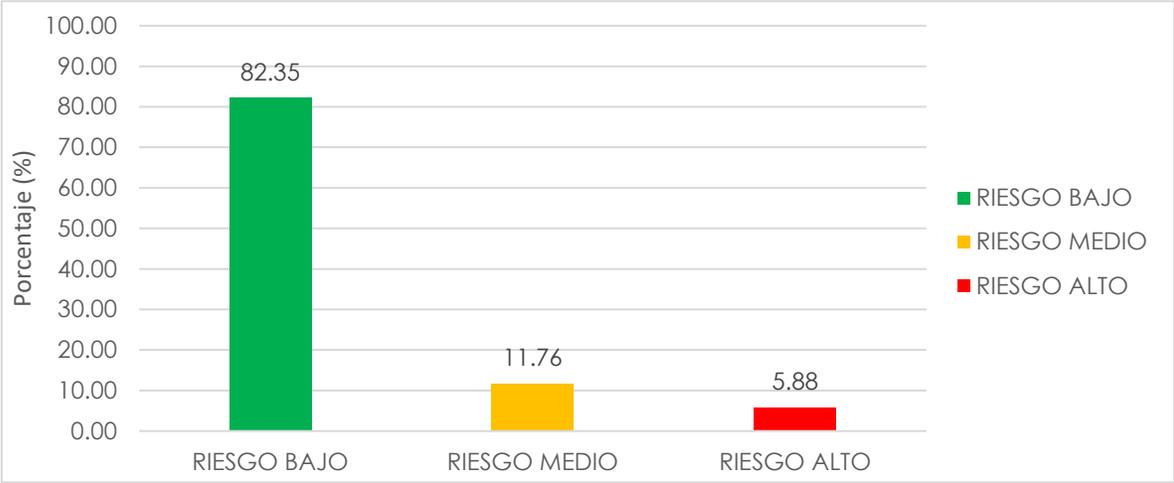


Figura 4.1: Porcentaje de sujetos población de conductores de automóviles por tipo de riesgo de poseer AOS, resultados cuestionario STOP-BANG.

En la prueba STOP-BANG aplicada a la población de conductores de automóviles se obtuvo que el 5.88% de los sujetos tienen riesgo alto de padecer AOS, 11.76% poseen un riesgo medio y 82.35% de sujetos de esta población tienen un riesgo bajo de padecer AOS.

En la Figura 4.2 se presentan los resultados para sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros, por tipo de riesgo de padecer AOS.

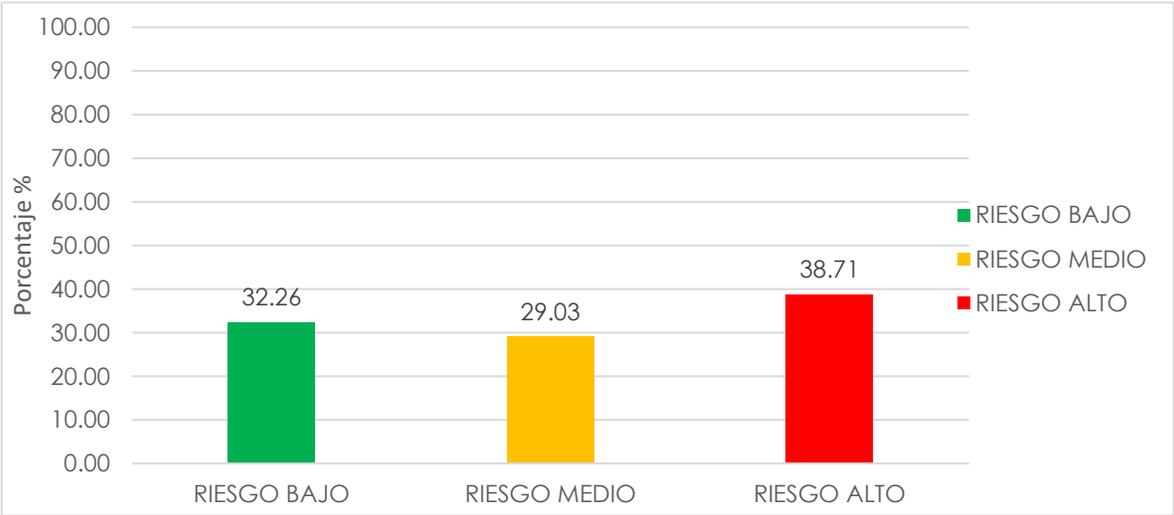


Figura 4.2: Porcentaje de sujetos población de conductores de transporte de pasajeros por tipo de riesgo de poseer AOS, resultados cuestionario STOP-BANG.

En la prueba STOP-BANG aplicada a la población de conductores de transporte de pasajeros se obtuvo que el 38.71% de los sujetos tienen riesgo alto de padecer AOS, 29.03% poseen un riesgo medio y 32.26% de los sujetos tienen un riesgo bajo. Se puede apreciar un claro y considerable incremento en los porcentajes de riesgo medio y alto para los sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros, con respecto a los porcentajes para la población de conductores de automóviles, ya que estos se triplican.

En la Figura 4.3 se presentan los porcentajes de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por tipo de riesgo de padecer AOS.

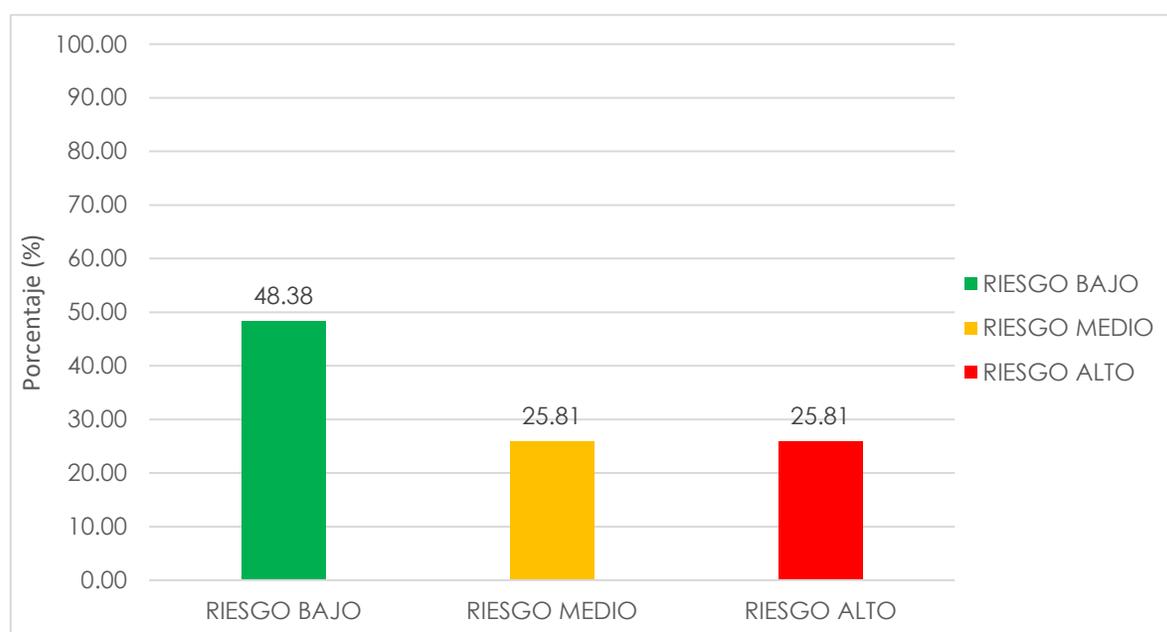


Figura 4.3: Porcentaje de sujetos población de conductores de transporte de camiones de carga por tipo de riesgo de padecer AOS, resultados cuestionario STOP-BANG.

En la prueba STOP-BANG aplicada a la población de conductores de camiones de carga se observa que el 25.81% de los sujetos tienen riesgo alto de padecer AOS, 25.81% poseen un riesgo medio y 48.38% de los sujetos en estudio tienen un riesgo bajo. Se puede apreciar un claro y considerable incremento en el riesgo medio y alto de padecer AOS respecto a la población de conductores de automóviles, al igual que en la población de conductores de transporte de pasajeros.

#### 4.4.2. Cuestionario “STOP-BANG-Conductores del Autotransporte Federal”

El cuestionario “STOP-BANG- Conductores del Servicio Público Federal” es una variante propuesta en esta investigación, con preguntas adicionales a las 8 habituales del “STOP-BANG”, dirigidas a conocer los hábitos de conducción y tiempo de descanso de los conductores del autotransporte federal; buscando determinar las condiciones de trabajo a las que están sujetos con la finalidad de detectar distancias recorridas, tiempos de conducción, pausas, y hábitos de descanso y alimentación.

A continuación, se presenta un análisis comparativo entre los valores registrados mediante el cuestionario STOP-BANG Conductores del Servicio Público Federal, respecto a los tiempos de conducción y pausas establecidos en la NOM-087. Este análisis se hace para los conductores de transporte de pasajeros y para los conductores de camiones de carga, ya que dicha normativa aplica únicamente para estas dos poblaciones de conductores.

Los tiempos de conducción y pausas establecidos en la NOM-087 considerados en este análisis son los siguientes:

- Todo conductor debe realizar una pausa de 30 minutos cuando ha conducido hasta cinco horas continuas.
- Para conductores de transporte de pasajeros, si el tiempo de conducción de una ruta de un servicio directo es mayor a cinco pero menor a siete horas, el conductor podrá omitir la pausa de 30 minutos, teniendo posteriormente una pausa de descanso mínima de cuatro horas continuas.
- Para conductores de camiones de carga, en rutas que impliquen un tiempo de conducción máxima de 14 horas, el conductor debe tener una pausa no menor a ocho horas continuas, sin menoscabo de cumplir con la pausa mínima establecida de 30 minutos; sin exceder las 14 horas de conducción en un periodo de 24 horas.

##### 4.4.2.1. Conductores del transporte de pasajeros

La Figura 4.4 muestra la relación entre la cantidad de pausas y las horas de conducción para los conductores de transporte de pasajeros, se observa que aquellos que

conducen más de cinco horas continuas realizan un descanso, mientras que la mayoría que realizan viajes cortos (menores a cinco horas) no realizan ningún descanso. Comparando los valores reportados contra lo estipulado en la normativa, se observa que la totalidad de sujetos de la población cumple con los criterios de descanso (pausa) estipulados en la NOM-087.

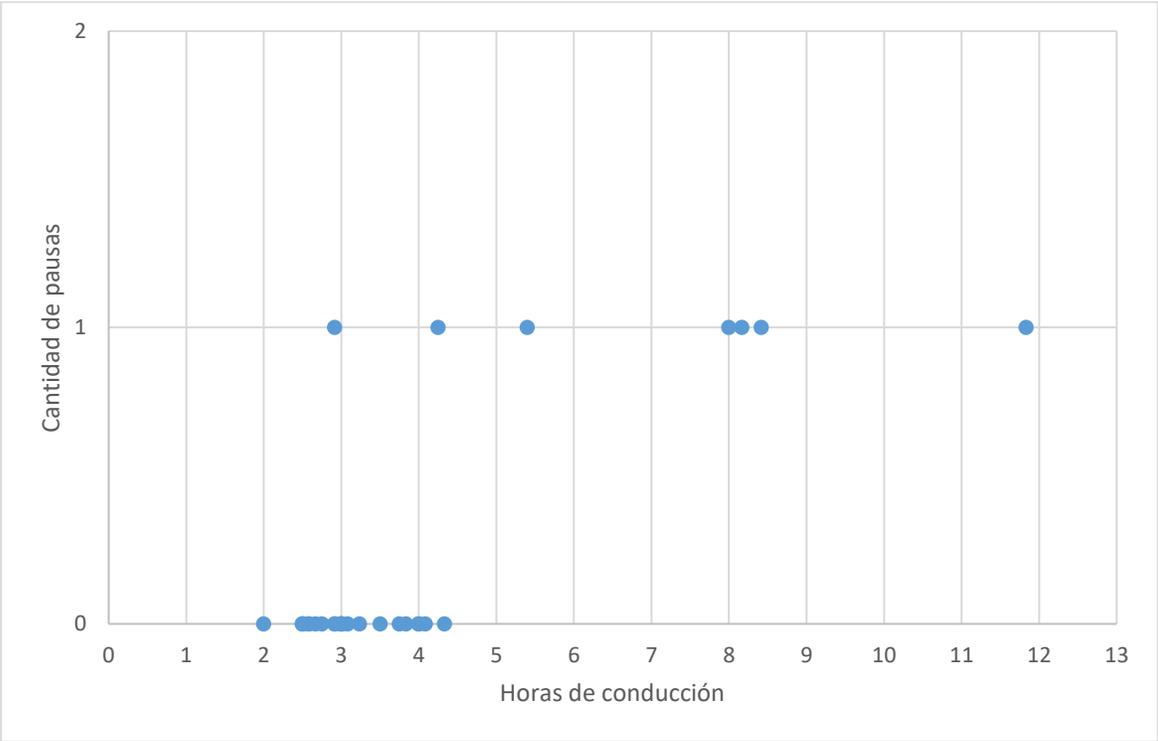


Figura 4.4: Relación entre cantidad de pausas y horas de conducción para los conductores de transporte de pasajeros.

En la Figura 4.5 se muestra un análisis similar, pero en este caso se hizo para la relación entre las horas de descanso y las horas de conducción a la semana; haciendo una comparación con lo reportado por los conductores entrevistados contra lo estipulado en la NOM-087. De acuerdo a la norma, la cantidad máxima de horas de conducción continua para los conductores de transporte de pasajeros es de 7 horas, estando establecido un descanso intermedio mínimo de 4 horas; al ser acumuladas estas cifras para una semana, el límite máximo de horas de conducción es de 98 horas, mientras que el mínimo de horas de descanso es de 63 horas (indicada con una línea continua en la figura). Comparando estos parámetros indicados en la norma con la realidad de los conductores de transporte de pasajeros se observa que la mayoría de los sujetos entrevistados cumplen con lo estipulado en la norma,

únicamente dos sujetos reportan relaciones de horas de conducción contra horas de descanso a la semana superiores a las estipuladas en la norma.

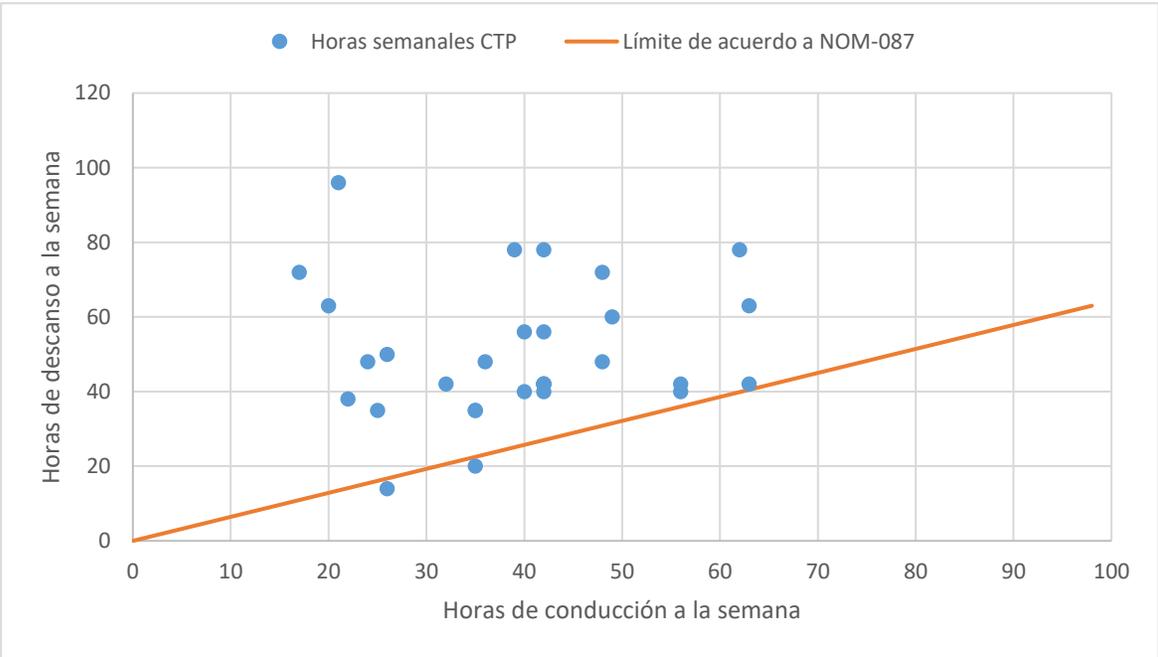


Figura 4.5: Relación entre horas de descanso y horas de conducción a la semana, para los conductores de transporte de pasajeros.

En la Figura 4.6 se muestra la relación entre las horas de descanso previas al último viaje y las horas de conducción registradas por los conductores de transporte de pasajeros; se indica con una línea continua delgada las horas mínimas de descanso y con una línea continua gruesa las horas máximas de conducción. En la figura se observa que sólo uno de los conductores entrevistados no cumple con las cuatro horas mínimas de descanso estipuladas en la NOM-087, sin embargo, se observa que el 52% de la población no cubre el descanso mínimo de ocho horas previas a su viaje. Adicionalmente se observa que son únicamente cuatro sujetos los que condujeron más de ocho horas continuas (de las siete como máximas establecidas en la norma), incluso se reportó un caso de más de 11 horas de conducción continua.

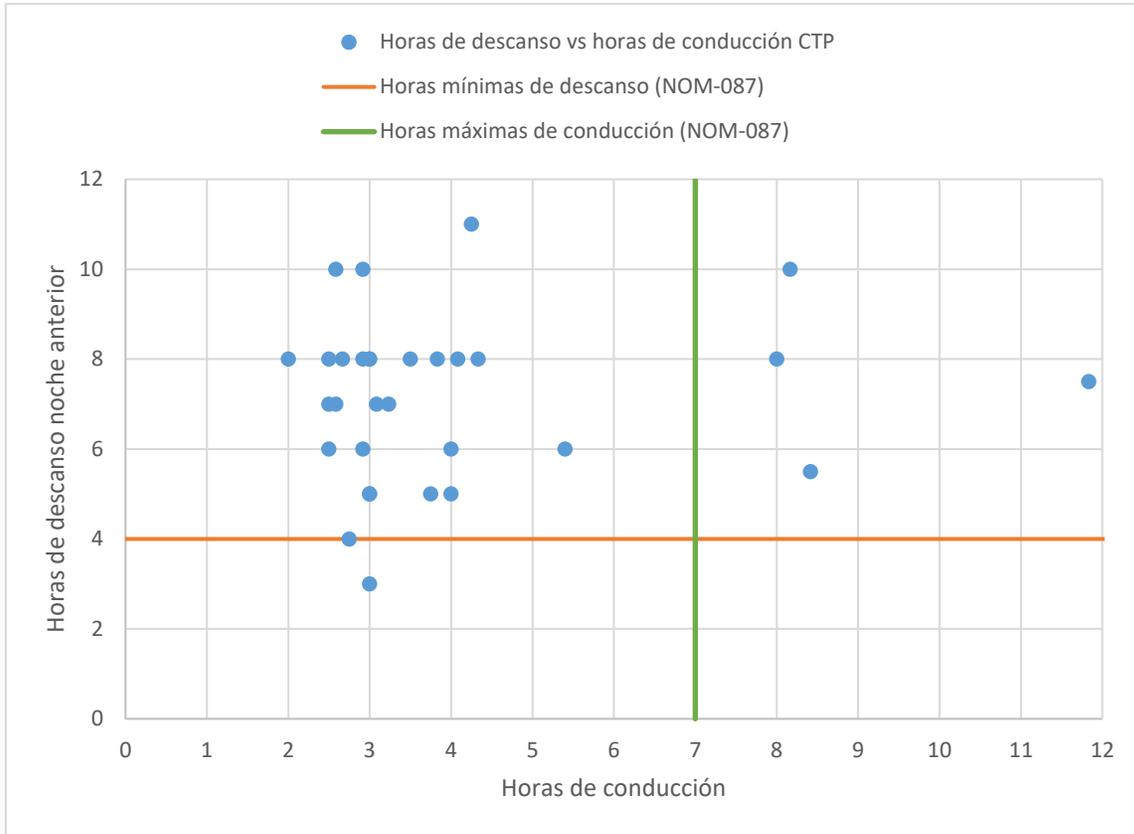


Figura 4.6: Relación entre las horas de descanso de la noche anterior al viaje y horas de conducción para los conductores de transporte de pasajeros.

#### 4.4.2.2. Conductores de camiones de carga

La Figura 4.7 muestra la relación entre la cantidad de pausas y las horas de conducción para los conductores de camiones de carga, se observa que los que reportan 10 o más horas de conducción realizan un descanso, mientras que los que presentan menos de cuatro horas de conducción no realizaron ninguna pausa. De acuerdo a la normativa todos aquellos sujetos que han conducido por periodos mayores a las 5.5 horas deben realizar un descanso, sin embargo, se observa que aproximadamente el 10% de la población de conductores de camiones de carga no cumplen con esta especificación de la NOM-087.

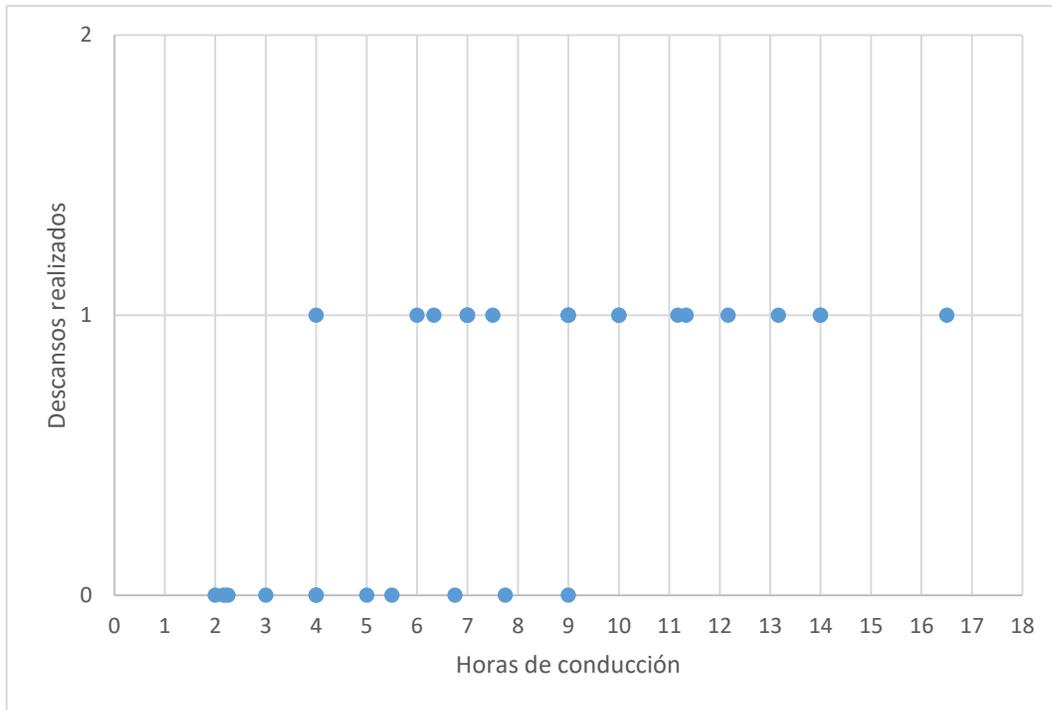


Figura 4.7: Relación entre cantidad de pausas y horas de conducción para los conductores de camiones de carga.

En la Figura 4.8 se muestra la relación entre las horas de descanso y las horas de conducción a la semana para los conductores de camiones de carga; haciendo una comparación similar al caso de los conductores del transporte de pasajeros, lo reportado por los conductores entrevistados contra lo estipulado en la NOM-087. De acuerdo a la norma, para 98 horas de conducción a la semana se requieren 63 horas de descanso (indicada con una línea continua en la gráfica); en la figura se observa que únicamente dos de los conductores de camiones de carga entrevistados son los que no cumplen con sus horas de descanso mínimas de acuerdo a las horas de conducción reportadas para una semana.

Finalmente, en la Figura 4.9 se muestra la relación entre las horas de descanso previas al último viaje y las horas de conducción registradas por los conductores de camiones de carga; se indica con una línea continua delgada las horas mínimas de descanso y con una línea continua gruesa las horas máximas de conducción. En la figura se observa que el 32% de los conductores entrevistados no descansan ocho horas antes de la realización de un viaje; de éstos se reportan tres casos críticos en los que los conductores manifiestan no haber

descansado nada antes de su último viaje con duraciones 7, 10 y 14 horas. El restante 68% de la población de conductores entrevistados reportan haber descansado por lo menos ocho horas, previo a viajes que van desde las dos hasta las 14 horas de duración. Adicionalmente se observa que un sujeto de la población es el que no respeta el límite máximo de horas de conducción de 14 horas establecidas en la norma, al reportar más de 16 horas de conducción.

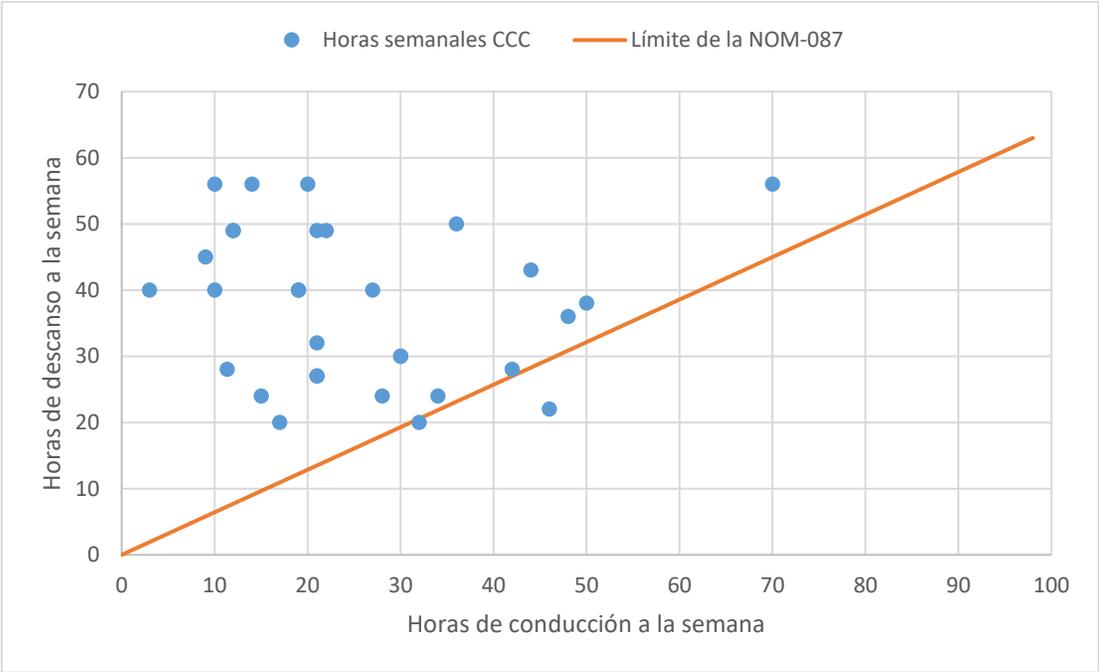


Figura 4.8: Relación entre horas de descanso intermedios y horas de conducción para los conductores de camiones de carga.

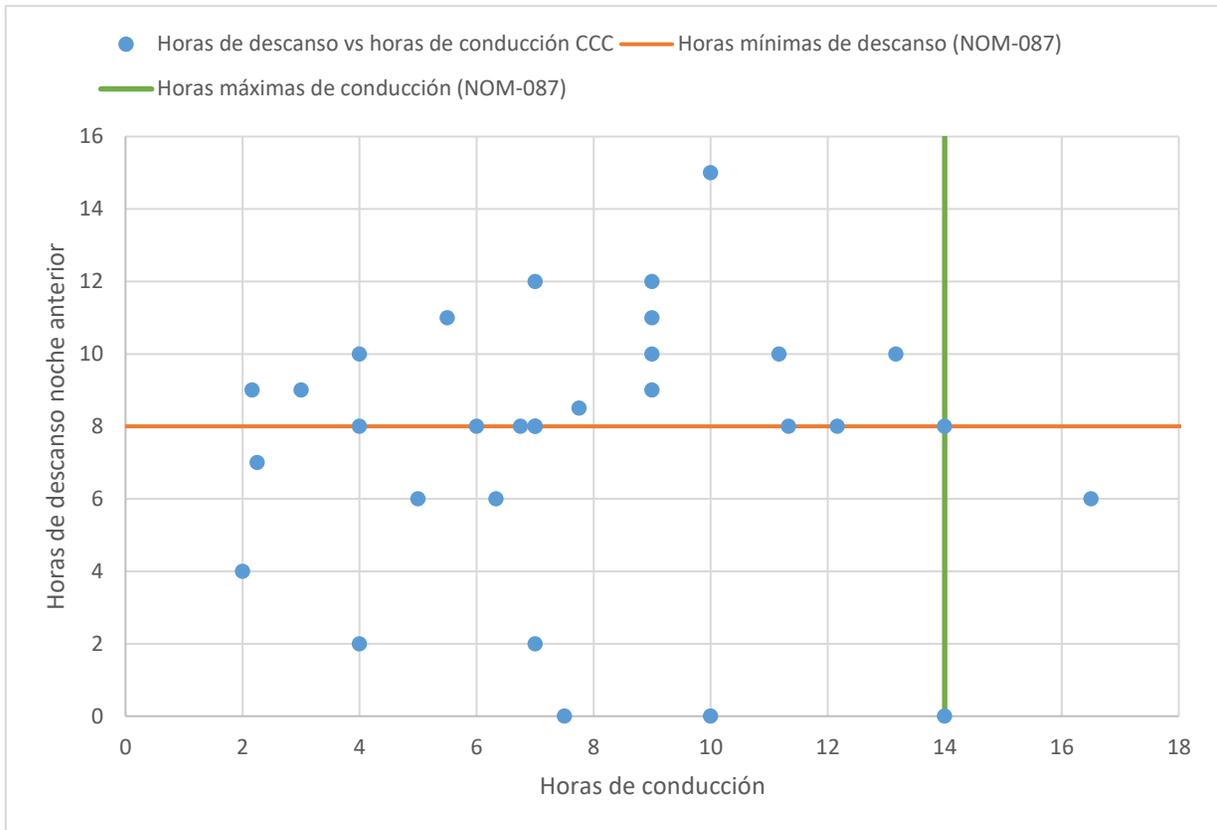


Figura 4.9: Relación entre horas de descanso de la noche anterior al viaje y horas de conducción para los conductores de transporte de carga.

#### 4.4.3. Cuestionario Epworth

El cuestionario Epworth consta de 8 preguntas vinculadas a la predisposición del conductor a quedarse dormido: Severa o Excesiva, Moderada o Marginal y Leve o Normal. Si el usuario presenta Somnolencia Excesiva Diurna (SED), indica una alta probabilidad de quedarse dormido durante el día mientras conduce; si presenta Somnolencia Marginal Diurna (SMD), indica que pudiera presentar sueño durante el día y si presenta Somnolencia Normal Diurna (SND), indica que casi no manifiesta sueño durante el día, encontrándose dentro de la media poblacional.

En la Figura 4.10 se muestra el porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles, por tipo de somnolencia.

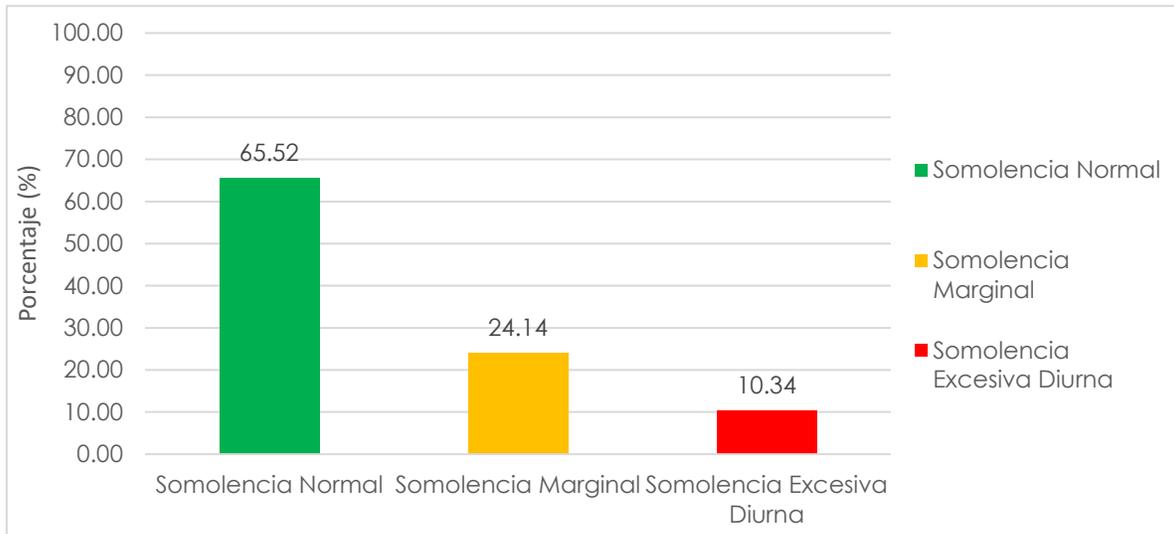


Figura 4.10: Porcentaje de sujetos de la población conductores de automóviles por tipo de somnolencia, resultados del cuestionario Epworth.

Los resultados de la aplicación del cuestionario Epworth a la población de conductores de automóviles se observa que el 10.34% de los sujetos poseen SED, que indica una alta probabilidad de quedarse dormido, el 24.14% de ellos presenta SMD, es decir, que pudiera presentar sueño durante el día, mientras que el restante 65.52% presentan SND, es decir, que casi no manifiesta sueño durante el día.

En la Figura 4.11 se muestra el porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por tipo de somnolencia.

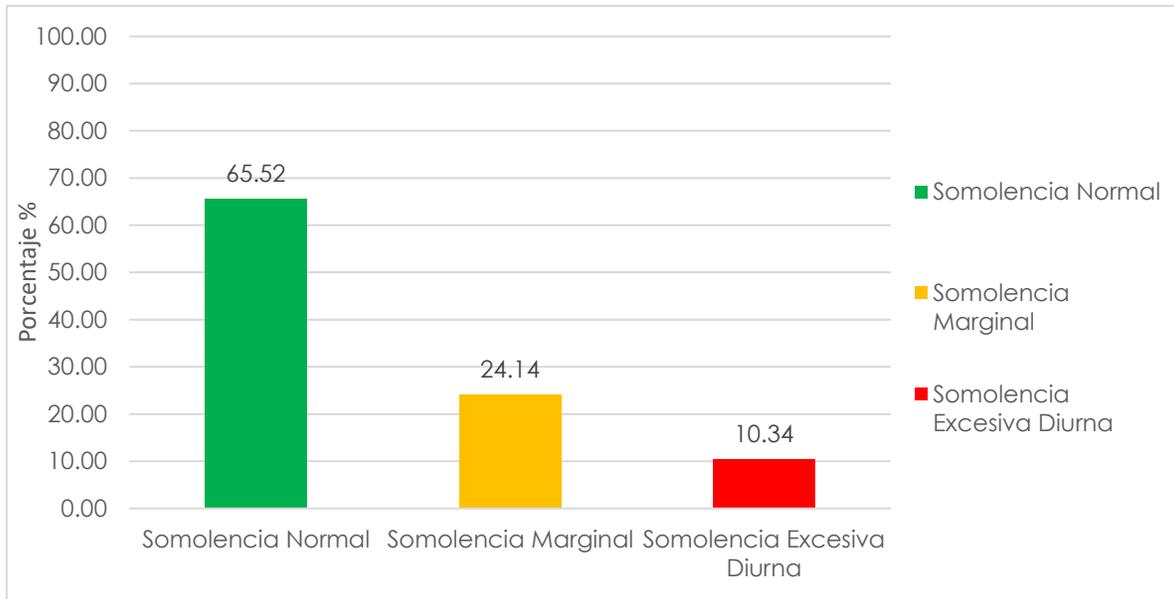


Figura 4.11: Porcentaje de sujetos de la población conductores de transporte de pasajeros por tipo de somnolencia, resultados del cuestionario Epworth.

En el cuestionario Epworth aplicado a la población de conductores de transporte de pasajeros se observa que el 3.23% de los sujetos poseen SED, 25.81% presentan SMD, mientras que el 70.97% de los mismos reportan SND.

Contrario a lo que se pensaba, al comparar los porcentajes por tipo de somnolencia de los conductores de transporte de pasajeros contra los conductores de automóviles, se observa que son estos últimos los que reportan un mayor porcentaje de sujetos con SED, mientras que el porcentaje de los sujetos con SMD se conserva muy similar para ambas poblaciones.

En la Figura 4.12 se muestra el porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por tipo de somnolencia.

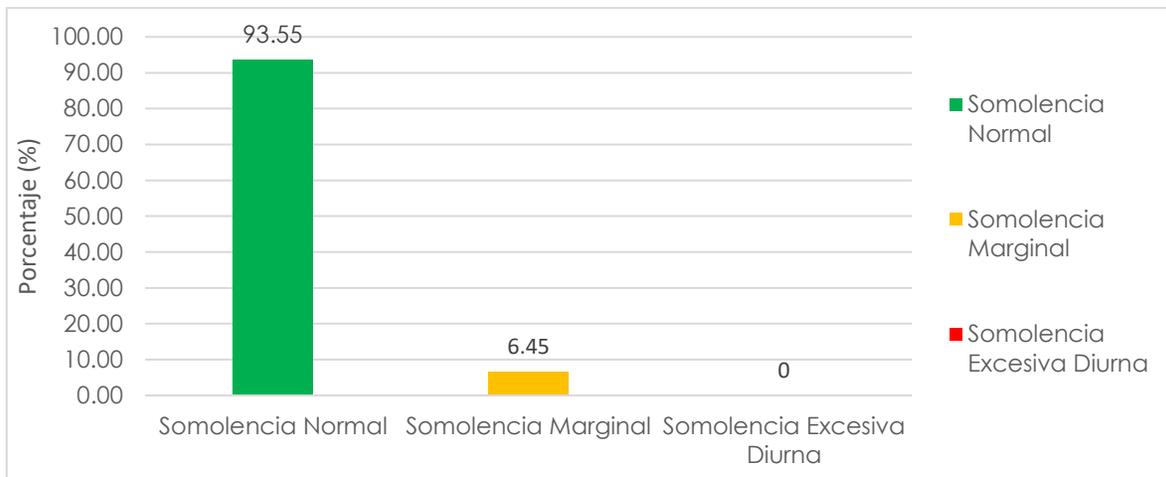


Figura 4.12: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por tipo de somnolencia, resultados cuestionario Epworth.

En el cuestionario Epworth aplicado a la población de conductores de camiones de carga se observa que ninguno de los sujetos entrevistados reporta SED, mientras que es únicamente el 6.45% de los conductores los que presentan SMD, mientras que el 93.55% de ellos reportan SND.

Se observan grandes cambios en la distribución de porcentajes de sujetos por tipo de somnolencia con respecto a los porcentajes obtenidos para la población de conductores de automóviles y la población de conductores de transporte de pasajeros, ya que en la población de conductores de camiones de carga se contabilizan más los sujetos con SND e incluso se puede apreciar que no hubo casos de conductores con SED.

#### 4.4.4. Cuestionario de “Matutinidad-Vespertinidad” o “Cronotipo”

El cuestionario de “Matutinidad-Vespertinidad” o también conocido como “Cronotipo” está conformado por 5 reactivos que se aplican con el fin de saber cuál es la tendencia habitual del sujeto a ser matutino o vespertino, pudiéndose presentar los siguientes casos: “Claramente Matutinos”, “Moderadamente Matutinos”, “Ningún Tipo”, “Moderadamente Vespertino” y “Vespertino”.

La Figura 4.13 muestra los porcentajes de sujetos de la población de conductores de automóviles por cronotipo.

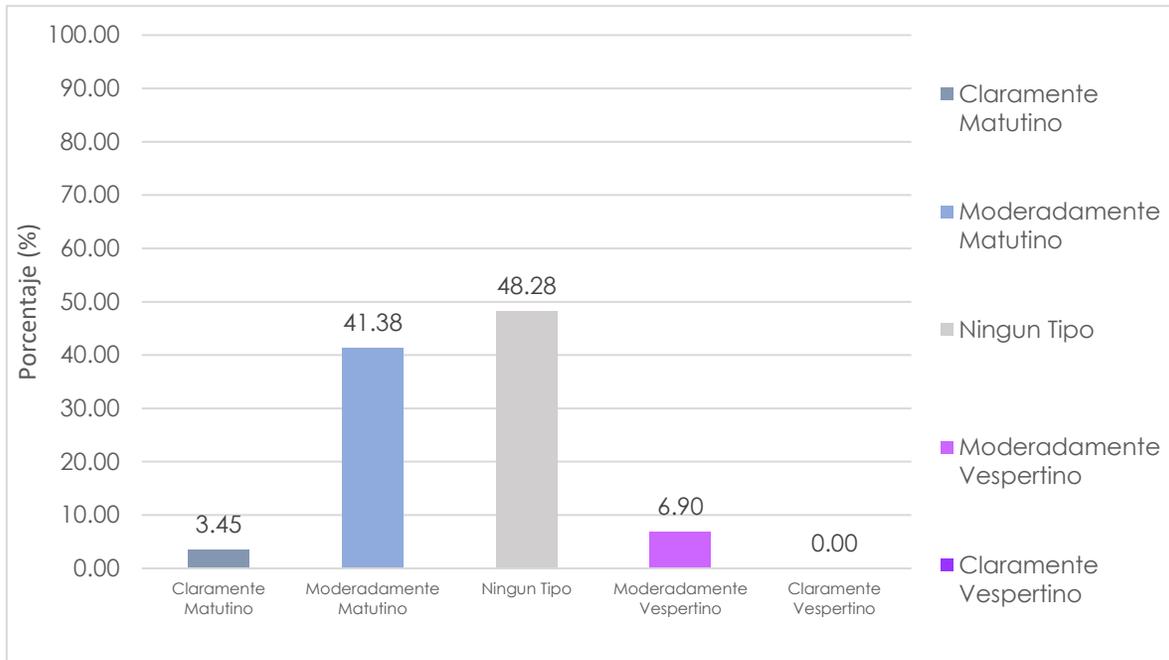


Figura 4.13: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles por su cronotipo, resultados del cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad.

En el cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad aplicado a la población de conductores de automóviles se observa que 3.45% de los sujetos son del tipo “Claramente Matutinos”, 41.38% son del tipo “Moderadamente Matutinos”, 48.28% es de la categoría “Ningún Tipo”, 6.90% son del tipo “Moderadamente Vespertino” y no se reportan casos del tipo “Vespertino”. De la figura se observa que casi la mitad de la población entrevistada no presenta tendencia alguna hacia lo matutino o vespertino.

La Figura 4.14 presenta los porcentajes de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por cronotipo.

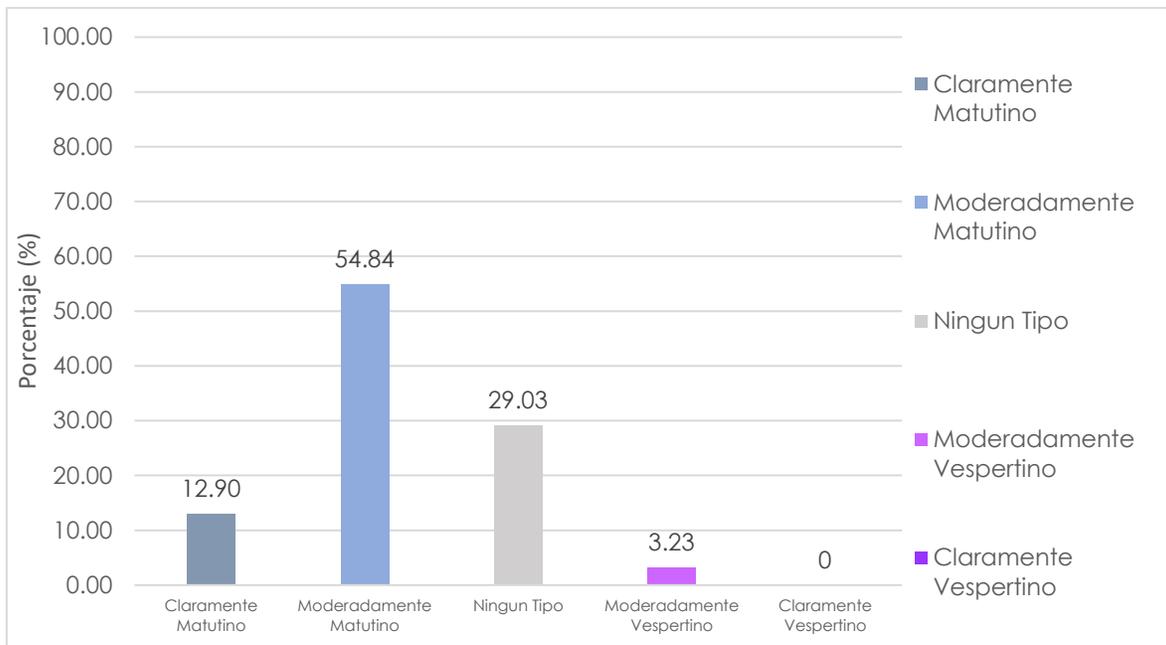


Figura 4.14: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por su cronotipo, cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad.

Del cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad aplicado a la población de conductores de transporte de pasajeros se obtiene que 12.90% de los sujetos son del tipo “Claramente Matutinos”, 54.84% son del tipo “Moderadamente Matutinos”, 29.03% es de la categoría “Ningún Tipo”, 3.23% son del tipo “Moderadamente Vespertino” y 0% son del tipo “Vespertino”. A diferencia de los conductores de automóviles cuya mayoría no reporta tendencia hacia lo matutino o vespertino, en el caso de los conductores de transporte de pasajeros es evidente su tendencia a ser personas matutinas.

La Figura 4.15 ilustra los porcentajes de sujetos de la población de conductores de carga por cronotipo.

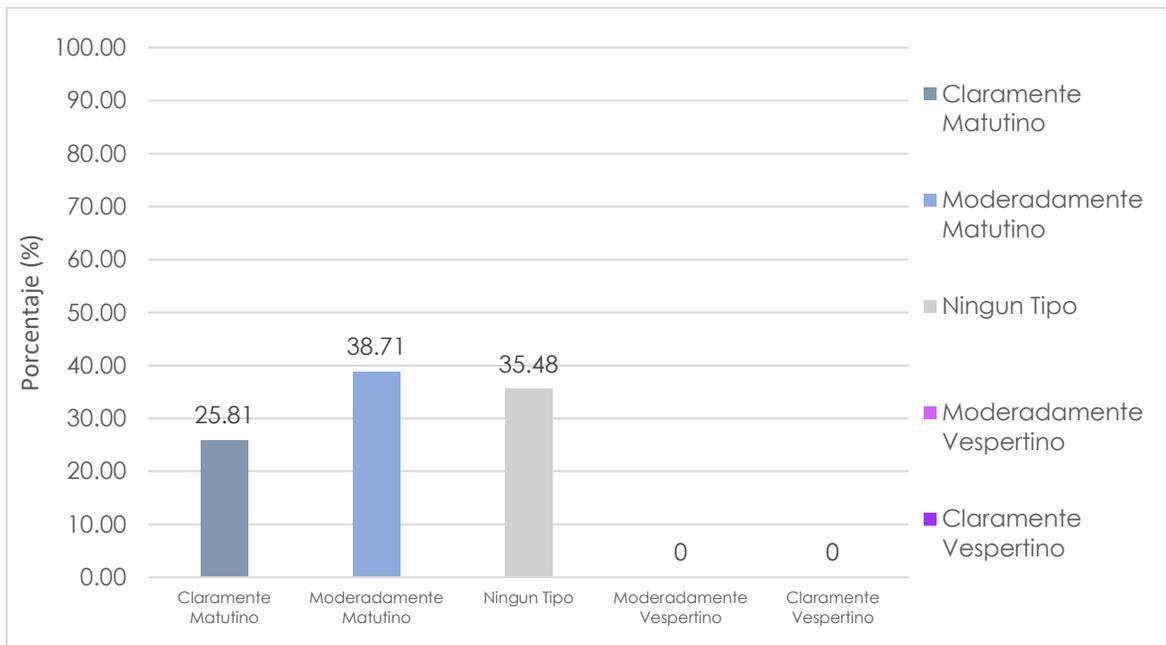


Figura 4.15: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por su cronotipo, resultados del cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad.

A partir del cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad aplicado a la población de conductores de camiones carga se obtiene que 25.81% de los sujetos son del tipo “Claramente Matutinos”, 38.71% son del tipo “Moderadamente Matutinos” y el restante 35.48% es de la categoría “Ningún Tipo”, para esta población no se registraron sujetos que se clasifiquen en el cronotipo de vespertinos. También se observa una preferencia totalmente matutina en este tipo de conductores.

#### 4.4.5. Aplicación de la prueba PVT-B.

Se aplicó la prueba “PVT-B” a cada una de las poblaciones estudiadas en esta investigación. Por medio de esta prueba se obtuvieron datos de suma importancia en términos de tiempos de reacción para generar el modelo de predicción. La prueba consiste en una variación de la prueba original “PVT” de 10 minutos en una versión corta pero significativa de tres minutos, en donde se sitúa al sujeto de estudio frente a una pantalla de computadora y se le somete a un ambiente monótono con un estímulo generado de manera aleatoria por un círculo rojo en la pantalla, al cual tiene que reaccionar presionando un botón de la computadora, todo esto con la finalidad de recopilar los tiempos de reacción que clasifican el estado de alerta de cada sujeto en: Muy rápido ( $TR \leq 150$  milisegundos), Correcto (150

milisegundos $\leq$ TR $\leq$ 500 milisegundos), Aletargado (500 milisegundos $\leq$ TR $\leq$ 30,000 milisegundos) y Ataque de sueño (TR > 30,000 milisegundos).

En la Figura 4.16 se presenta el porcentaje de conductores de automóviles de acuerdo a su estado de alerta obtenido con base en los tiempos de reacción medidos con la prueba PVT-B. De igual forma, la Figura 4.17 muestra los porcentajes para los conductores de transporte de pasajeros y la Figura 4.18 muestra los porcentajes para los conductores de camiones de carga.

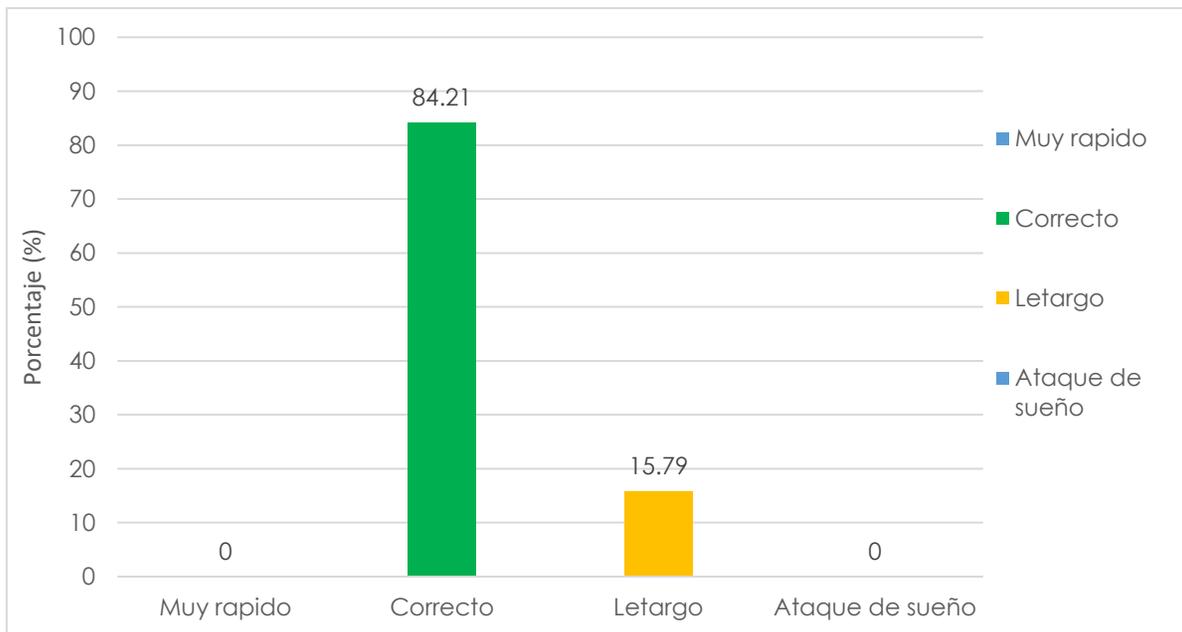


Figura 4.16: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles por estado de alerta, resultados de la prueba (PVT-B).

Como resultado de la prueba PVT-B aplicada a los conductores de automóviles, en la Figura 4.16 se aprecia que el 84.21% de sujetos se encontraban en un estado de alerta correcto, 15.79% se encontraban en un estado aletargado y no se presentaron conductores en un estado de alerta muy rápido o en un ataque de sueño.

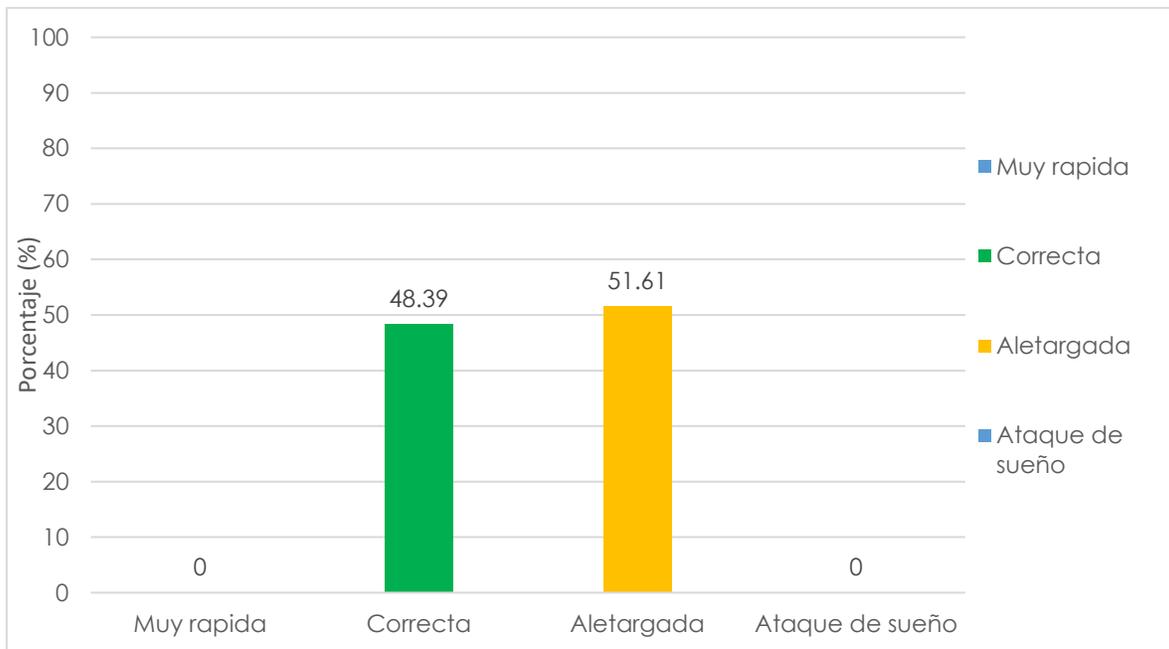


Figura 4.17: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por estado de alerta, resultados de la prueba (PVT-B).

En la Figura 4.17 se aprecia que para los conductores de transporte de pasajeros el 51.61% de sujetos de la población se encontraban en un estado aletargado y 48.39% se encontraban en un estado correcto; al igual que para la población de conductores de automóviles, no se obtuvieron registros de sujetos en un estado de alerta muy rápido o en un ataque de sueño.

A diferencia de los conductores de automóviles que en su mayoría presentan un estado de alerta correcto, para los conductores de transporte de pasajeros se observa un incremento en el tiempo de reacción promedio, incrementándose la cantidad de sujetos en estado aletargado.

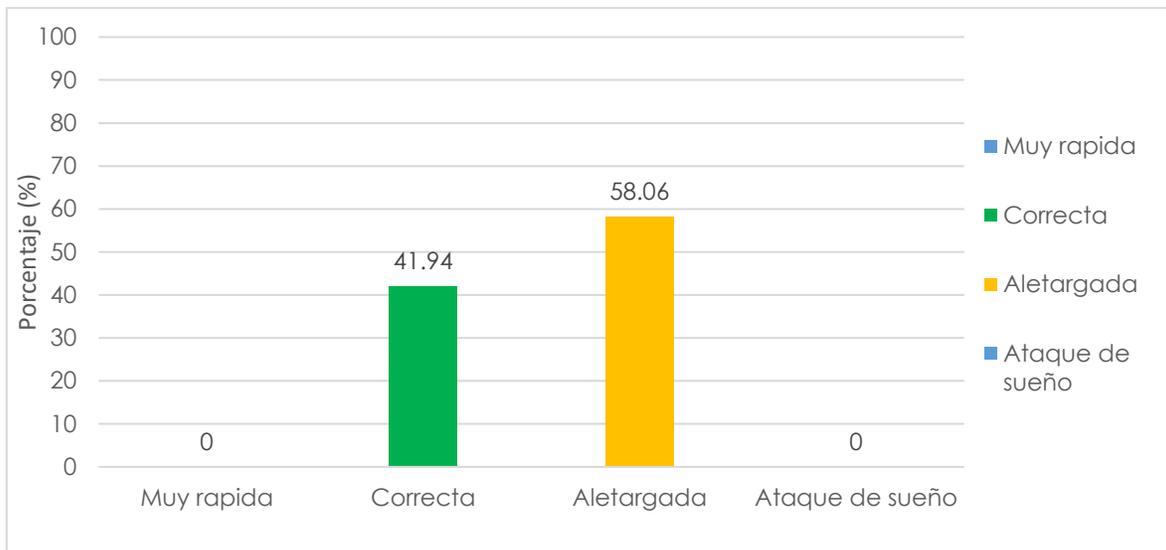


Figura 4.18: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por estado de alerta, resultados de la prueba (PVT-B).

En la Figura 4.18 se aprecia que para los conductores de camiones de carga el 58.06% de sujetos de la población se encontraban en un estado aletargado y 41.94% de sujetos se encontraban un estado de alerta correcta. Al igual que en para la población de conductores de automóviles y transporte de pasajeros, no se obtuvieron registros de sujetos en un estado de alerta muy rápido o en ataque de sueño.

Se observa el incremento considerable en el porcentaje de los conductores de camiones de carga en estado aletargado (58.06%) con respecto a la población de conductores de automóviles (15.79%), considerándose que más de la mitad de los sujetos de esta población no se encuentra en un estado de alerta óptimo para conducir ( $TR > 500$  milisegundos). Por otro lado, a diferencia de algunos conductores de transporte de pasajeros que llegan a reportar tiempos de reacción promedio superiores a los 800 milisegundos, para esta población de conductores de camiones de carga los datos registrados no superan los 700 milisegundos.

En las Figuras 4.19, 4.20 y 4.21 se presentan las ojivas de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción promedio de los sujetos de cada una de las poblaciones analizadas, mediante las cuales se determina el Percentil 85 (P-85) que representa el comportamiento general de cada población.

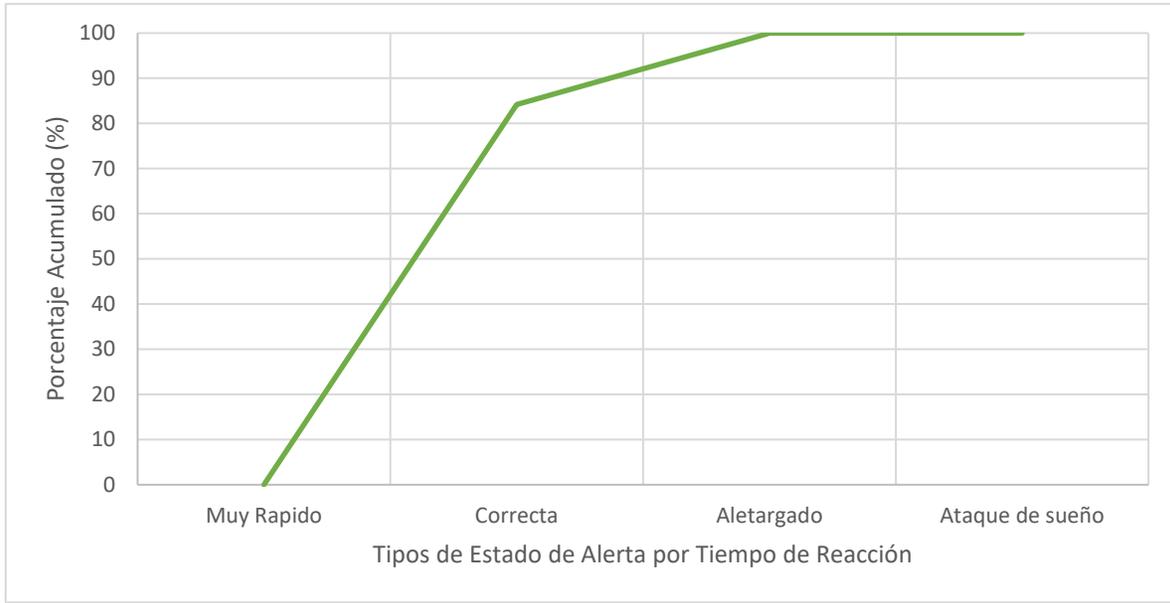


Figura 4.19: Ojiva de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores de automóviles, resultados de la prueba (PVT-B).

La Figura 4.19 presenta los tiempos de reacción promedio de los sujetos de la población de conductores de automóviles, en porcentaje acumulado. Se puede observar que el P-85 para estos conductores es de aproximadamente 400 milisegundos, lo que indica que en general los conductores de automóviles reportan un estado de alerta correcto.

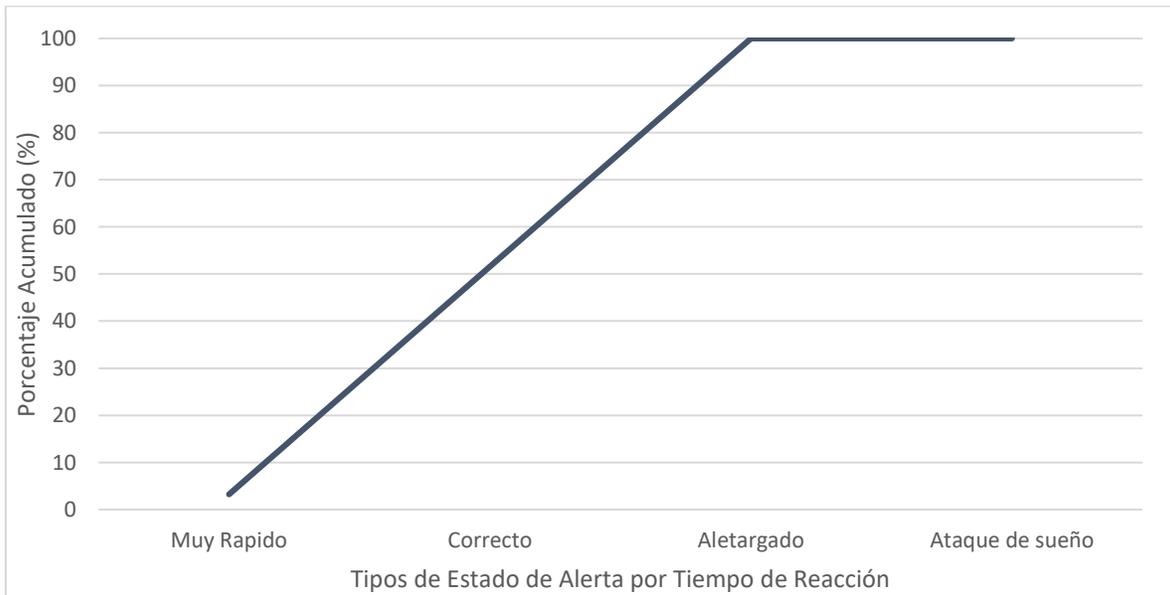


Figura 4.20: Ojiva de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores del transporte de pasajeros, resultados de la prueba (PVT-B).

La Figura 4.20 presenta el promedio de los tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros, por porcentaje acumulado. Para este tipo de conductores se observa que el P-85 de los tiempos de reacción es de 860 milisegundos, es decir, que para esta población en general, los conductores reportan un estado aletargado.



Figura 4.21: Ojiva de distribución de porcentajes acumulados de tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores de camiones de carga, resultados de la prueba (PVT-B).

La Figura 4.21 presenta el promedio de los tiempos de reacción de los sujetos de la población de conductores de camiones de carga, pero por porcentaje acumulado. Se observa esta vez que el P-85 de los tiempos de reacción es de 650 milisegundos, lo que indica que, en general, los conductores de camiones de carga reportan un estado aletargado.

Comparando los resultados de cada población, se observa que son los conductores de transporte de pasajeros los que reportan los mayores tiempos de reacción, presentando un estado aletargado, con tiempos de reacción promedio mayor en más de 200 milisegundos respecto a los conductores de camiones de carga y en más de 400 milisegundos respecto a los conductores de automóviles. En ambas poblaciones, conductores de transporte de pasajeros y de camiones de carga, presentan altos porcentajes de conductores que no se encuentran en un estado de alerta óptimo para conducir ( $TR > 500$  milisegundos).

#### 4.4.6. Cuestionario escala de somnolencia Karolinska.

El cuestionario escala de somnolencia Karolinska es una escala de nueve estados que mide de manera subjetiva el estado en que se siente el conductor en términos de somnolencia, esta escala se ligó estrechamente a la prueba PVT-B, debido a que se complementan por brindarnos una evaluación subjetiva por parte de esta escala y una evaluación objetiva por parte de la prueba “PVT-B”. Este cuestionario es el único que está condicionado a aplicarse en el instante inmediato siguiente a la aplicación de la prueba PVT-B. Los nueve estados en los que se cataloga a cada conductor son: 1. Extremadamente despierto, 2. Muy despierto, 3. Despierto, 4. Más o menos despierto, 5. Ni despierto, ni somnoliento, 6. Algunos signos de somnolencia, 7. Somnoliento, pero sin esfuerzo para mantenerse despierto, 8. Somnoliento, algún esfuerzo para mantenerse despierto, y 9. Muy somnoliento, gran esfuerzo para mantenerse despierto, luchando contra el sueño.

En las Figuras 4.22, 4.23 y 4.24 se muestran los porcentajes de los sujetos por tipo de estado de autopercepción en prueba Karolinska, para cada población evaluada en la presente investigación.

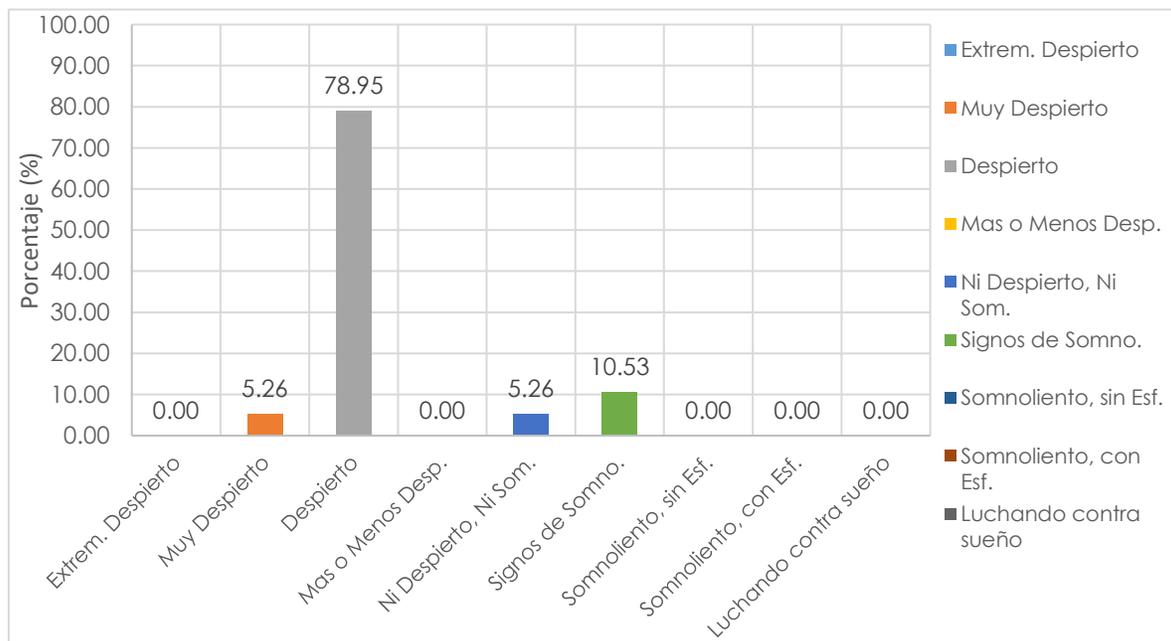


Figura 4.22: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de automóviles por estado de somnolencia, resultados del cuestionario de escala de somnolencia Karolinska.

En la prueba Karolinska aplicada a la población de conductores de automóviles se observa que el 5.26% de sujetos se percibe en estado tipo 2 “muy despierto”, 78.95% en estado tipo 3 “despierto”, 5.26% en estado tipo 5 “ni despierto ni somnoliento” y 10.53% en estado tipo 6 “algunos signos de somnolencia”, para los demás tipos de estado de somnolencia no se obtuvieron registros.

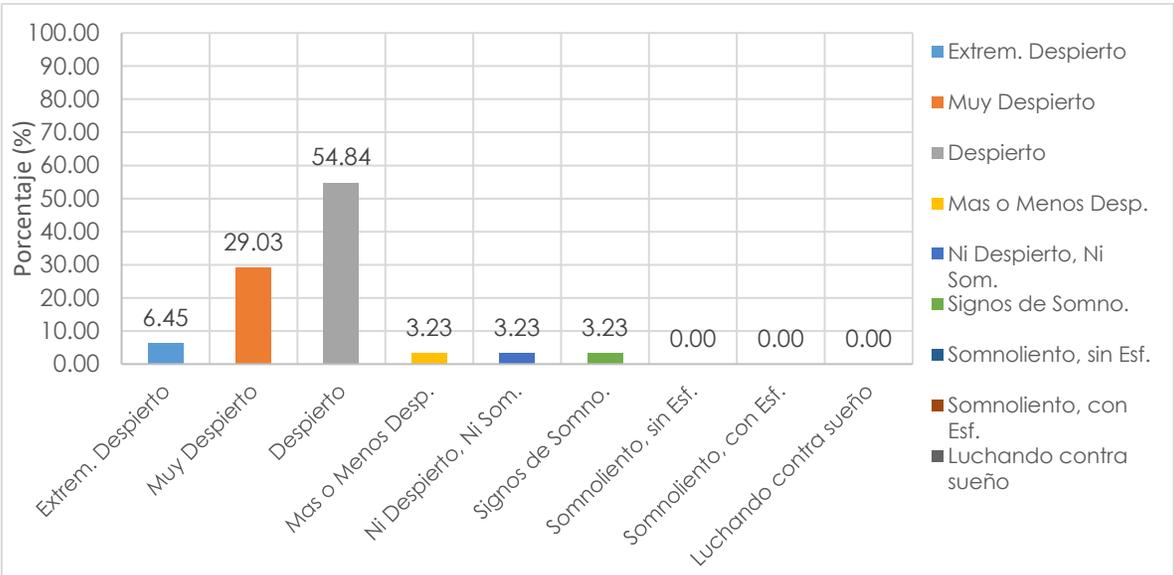


Figura 4.23: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de transporte de pasajeros por estado de somnolencia, resultados del cuestionario de escala de somnolencia Karolinska.

En la prueba Karolinska aplicada a la población de conductores de transporte de pasajeros se obtuvo que el 6.45% de sujetos se percibe en estado tipo 1 “extremadamente despierto”, 29.03% en estado tipo 2 “muy despierto”, 54.84% en estado tipo 3 “despierto”, 3.23% en estado tipo 4 “más o menos despierto”, 3.23% en estado tipo 5 “ni despierto ni somnoliento” y el restante 3.23% en estado tipo 6 “algunos signos de somnolencia”, en los demás tipos de estado no se obtuvieron registros.

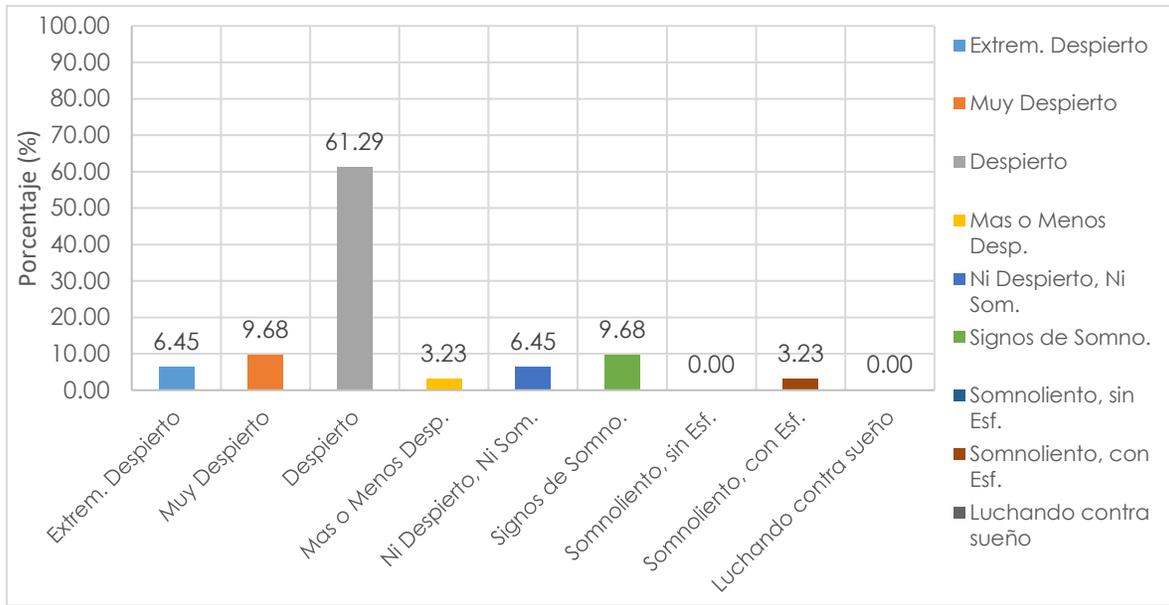


Figura 4.24: Porcentaje de sujetos de la población de conductores de camiones de carga por estado de somnolencia, resultados del cuestionario de escala de somnolencia Karolinska.

En la prueba Karolinska aplicada a la población de conductores de camiones de carga se obtuvo que el 6.45% de sujetos se encuentran en estado tipo 1 “extremadamente despierto”, 9.68% de sujetos están en estado tipo dos “muy despierto”, 61.29% de sujetos están en estado tipo tres “despierto”, 3.23% de sujetos están en estado tipo 4 “más o menos despierto”, 6.45% de sujetos están en estado tipo 5 “ni despierto ni somnoliento”, 9.68% de sujetos están en estado tipo 6 “algunos signos de somnolencia”, el restante 3.23% de sujetos están en estado tipo 8 “somnoliento, algún esfuerzo para mantenerse despierto” y para los demás tipos de estado no se registraron sujetos.

#### I.4.7. Análisis cruzado

La Figura 4.25 presenta el promedio de los tiempos de reacción en milisegundos versus las horas de conducción de los sujetos de la población de conductores de autobuses, esto con la finalidad de visualizar las horas óptimas de conducción, además se ilustran de color rojo las horas límite de conducción plasmadas por la NOM-SCT-087-2017 para este sector de conductores, en el otro eje se plasma el límite de tiempo de reacción en milisegundos que marca la literatura como umbral para clasificar una persona con tiempo de reacción correcto o aletargado. Por otro lado, se plasma de color azul el número de horas de

conducción que propone el autor como las máximas que un conductor debe de realizar por día.

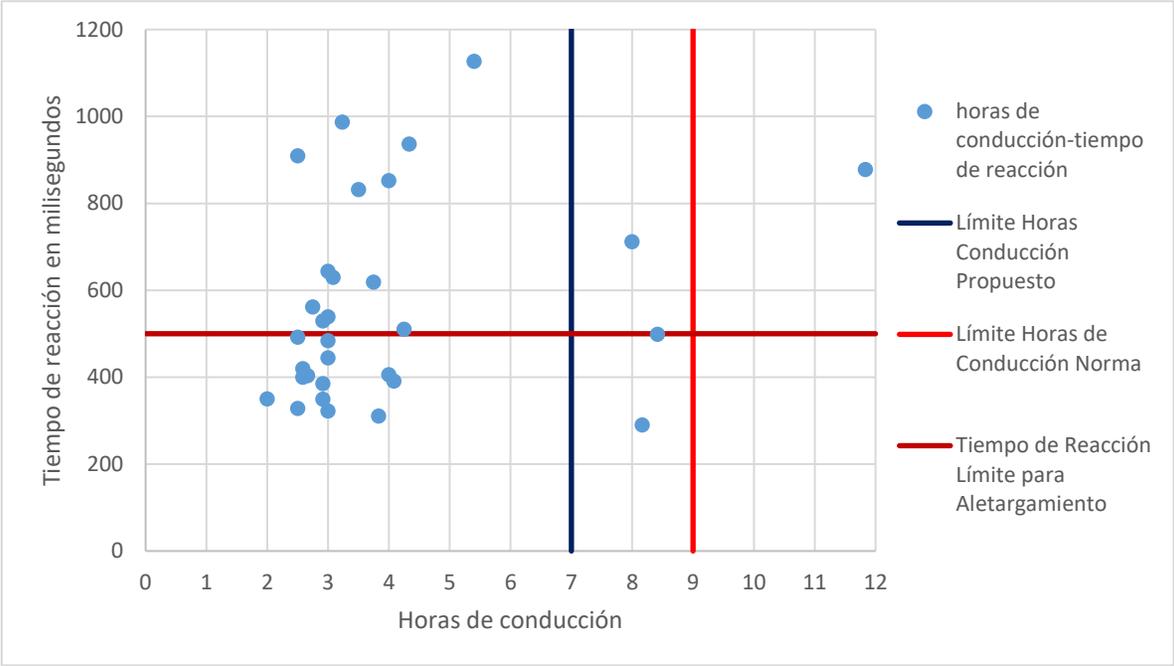


Figura 4.25: Grafica de dispersión del Tiempo de reacción versus Horas de Conducción de la Población de Conductores de Transporte de Pasajeros.

La Figura 4.26 presenta el promedio de los tiempos de reacción en milisegundos versus las horas de conducción de los sujetos de la población de conductores de carga, esto con la finalidad de visualizar las horas óptimas de conducción, además se ilustran de color rojo las horas límite de conducción plasmadas por la NOM-SCT-087-2017 para este sector de conductores, en el otro eje se plasma el límite de tiempo de reacción en milisegundos que marca la literatura como umbral para clasificar una persona con tiempo de reacción correcto o aletargado. Por otro lado, se plasma de color azul el número de horas de conducción que propone el autor como las máximas que un conductor debe de realizar por día.

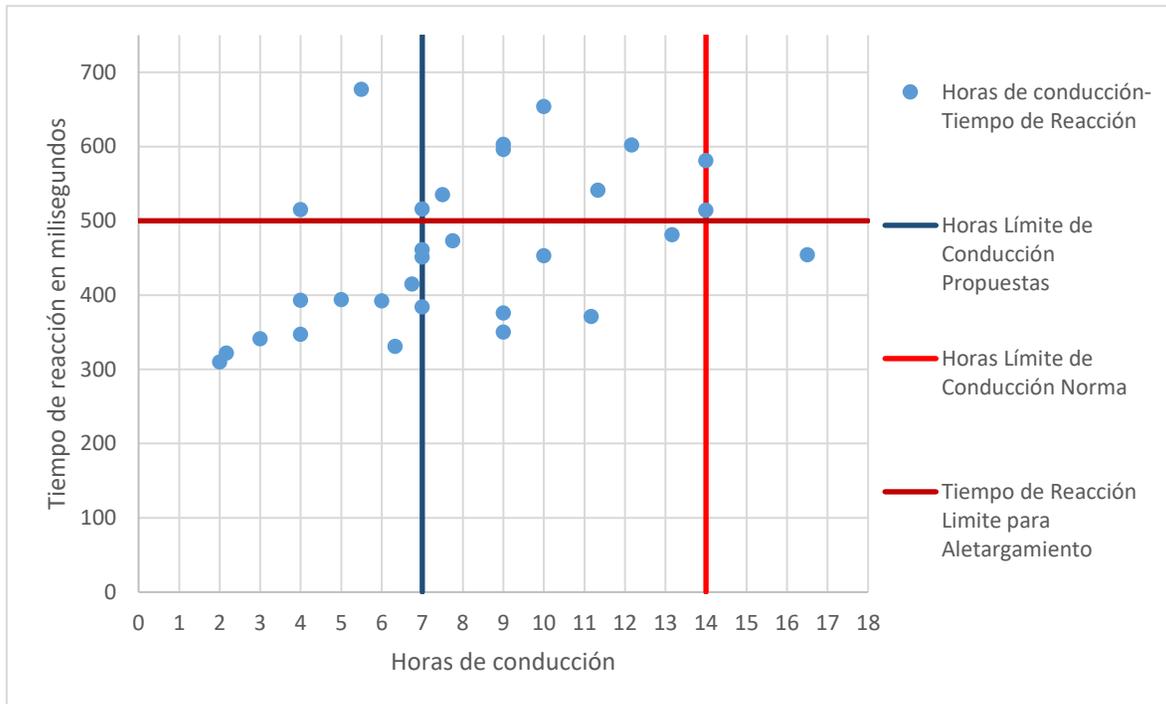


Figura 4.26: Grafica de dispersión del Tiempo de reacción versus Horas de Conducción de la Población de Conductores de Camiones de Carga.

#### 4.5. Procesamiento de resultados.

En esta etapa se analizaron los datos obtenidos recopilados de los cuestionarios y las pruebas realizadas a los sujetos que conforman la muestra. Se realizaron análisis estadísticos que permitieron conocer los parámetros de cada variable como son la media, desviación estándar, varianza y distribución de probabilidades, apoyándose el programa estadístico R.

#### 4.6. Estimación del modelo.

Una vez que se realizó el análisis y depuración de la etapa anterior, se procedió a utilizar lo encontrado para la estimación del modelo Logit de predicción de somnolencia, observando las variables de mayor significancia con respecto a la variable respuesta para cada población propuesta, ordenándolas y depurando aquellas que no poseían un nivel de significancia importante tal que pudieran tomarse en cuenta en la estimación del modelo, se plantearon distintas combinaciones de variables, coeficientes de regresión y con ello

modelos, para observar cual de entre ellos se trataba del más preciso, de mejor rendimiento o descripción del fenómeno y con ello hacer la elección del modelo final. Se realizaron distintos ajustes para calibrarlo, de tal manera que sus resultados describieran mejor la realidad o suceso “estado somnolencia”, para esta etapa se apoyó en el programa estadístico R.

A continuación, en la Tabla 4.2.se presentan las variables encontradas por medio de las pruebas y cuestionarios aplicados:

Tabla 4.2. Variables destacadas encontradas para la estimación de los modelos de predicción

Variable Nombre	Variable #
Ronquidos	X1
Cansado	X2
Respiración al dormir	X3
Presión	X4
IMC	X5
Mayor a 50	X6
Ancho de Cuello	X7
Sexo	X8
Riesgo de Padecer (AOS)	X9
Horas Conducidas Format. Decimal en el periodo inmediato anterior	X10
Hora de la Prueba	X11
Descansos	X12
Comida reciente	X13
Carga Peligrosa	X14
Horas dormidas noche ant.	X15
Horas descanso Semana	X16
Horas Conducción semana	X17
Tipo (Somnolencia Diurna)	X18
Cronotipo de Persona	X19
<b>TIEMPO REACCIÓN PROMEDIO (MILISEGUNDOS)</b>	<b>X20</b>
<b>Resultado</b>	<b>X 21 (Respuesta)</b>

Posteriormente en la Tabla 4.3 muestra las variables destacadas que poseen mayor nivel de significancia.

Tabla 4.3. Variables destacadas con mayor nivel de significancia.

Variable Nombre	Variable #
Riesgo	X9
Horas Conducidas Format. Decimal	X10
Hora de la Prueba	X11
Descansos	X12
Comida reciente	X13
Horas dormidas noche ant.	X15
Horas descanso Semana	X16
Horas Conducción semana	X17
<b>TIEMPO REACCIÓN PROMEDIO (MILISEGUNDOS)</b>	<b>Y</b>
<b>RESULTADO</b>	<b>Y Binaria</b>

Enseguida se muestran los modelos de predicción estimados con la combinación de distintas variables encontradas y las que tienen mayor nivel de significancia, es decir, con las que se puede explicar mejor el fenómeno. Es importante mencionar que se estimaron también los modelos Probit, de los modelos ya estimados con Logit, lo anterior para comparar sus niveles de significancia, comprobando así que prácticamente no hay variaciones significativas entre ellos. Además, en la parte derecha se muestran parámetros calificadores de los modelos, tasa de mala clasificación (TMC) y pseudo R's cuadradas de McFadden y otros autores. De esta manera se destaca al “Modelo 7” por su mejor rendimiento en estos rubros para la población de conductores de autobuses y, el “Modelo 4” y “Modelo 14”, para los conductores de carga del autotransporte federal, destacando también el “Modelo 7” y Modelo 11” para esta misma población, por su buen rendimiento en términos de nivel de significancia de sus variables, es decir, mejor explicación del fenómeno, así como también en términos de buen porcentaje de predicción.

Tabla 4.4. Modelos Logit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Autobuses del Autotransporte Federal.

Modelo	Significancia Variables								Parametro Cal.	Pseudo R'S 2		
	x9	x10	x11	x12	x13	x15	x16	x17		TMC	McFadden	r2ML
1	0.0709	0.0911	0.7315	0.6491	0.1031	0.412	0.8981	0.3243	0.2903226	0.255081	0.2961744	0.3961437
2	0.0677	0.0887	0.7312	0.6534	0.1032	0.3349	-	0.3252	0.2903226	0.2546965	0.2958017	0.3956451
3	0.0681	0.0905	-	0.6087	0.0901	0.3409	-	0.2999	0.2903226	0.2519194	0.2931038	0.3920366
4	0.0764	0.0877	-	-	0.0985	0.1547	-	0.3518	0.3548387	0.2457829	0.2871056	0.3840138
5	0.0865	0.068	-	-	0.1287	0.1393	-	-	0.3548387	0.2243648	0.2657686	0.3554749
6	0.0958	0.0951	-	-	0.2166	-	-	-	0.3225806	0.165947	0.2042696	0.2732177
7	0.106	0.192	-	-	-	-	-	-	0.2580645	0.1211999	0.1537004	0.2055797
8	0.101	-	-	-	-	-	-	-	0.3870968	0.0672566	0.088448	0.1183023
9	0.104	-	-	-	0.486	-	-	-	0.3548387	0.078881	0.1029219	0.1376616
10	-	0.191	-	-	-	-	-	-	0.3548387	0.0556075	0.073709	0.0985883

Tabla 4.5. Modelos Probit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Autobuses del Autotransporte Federal.

Modelo	Significancia Variables								Parametro Cal.	Pseudo R'S 2		
	x9	x10	x11	x12	x13	x15	x16	x17	TMC	McFadden	r2ML	r2CU
1	0.061	0.0706	0.7204	0.6378	0.0833	0.4274	0.8272	0.3391	0.3225806	0.2592471	0.3002003	0.4015284
2	0.0571	0.0678	0.7091	0.6462	0.0848	0.3221	-	0.352	0.2903226	0.2581695	0.2991611	0.4001385
3	0.0576	0.07	-	0.6066	0.074	0.3332	-	0.333	0.3225806	0.2547123	0.295817	0.3956656
4	0.0646	0.0571	-	-	0.0808	0.1458	-	0.3952	0.3548387	0.2488158	0.2900765	0.3879875
5	0.0741	0.046	-	-	0.1036	0.1223	-	-	0.3548387	0.2301866	0.2716308	0.3633157
6	0.0852	0.0709	-	-	0.1729	-	-	-	0.3225806	0.1691213	0.2077399	0.2778594
7	0.1094	0.1792	-	-	-	-	-	-	0.2580645	0.1169693	0.1487562	0.1989667
8	0.0943	-	-	-	-	-	-	-	0.3870968	0.0674499	0.0886905	0.1186266
9	0.0976	-	-	-	0.4979	-	-	-	0.3548387	0.0787273	0.1027321	0.1374077
10	-	0.164	-	-	-	-	-	-	0.3548387	0.0552664	0.0732737	0.0980062

Tabla 4.6. Modelos Logit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Carga del Autotransporte Federal.

Modelo	Significancia Variables								Parametro Cal.	Pseudo R'S 2		
	x9	x10	x11	x12	x13	x15	x16	x17	TMC	McFadden	r2ML	r2CU
1	0.105	0.097	0.182	0.298	0.961	0.57	0.357	0.98	0.1290323	0.5754244	0.5428175	0.7302002
2	0.0915	0.0959	0.1702	0.2847	0.9609	0.568	0.351	-	0.1290323	0.5754091	0.542808	0.7301874
3	0.0818	0.0838	0.1547	0.2656	-	0.5399	0.3504	-	0.1290323	0.5753521	0.5427725	0.7301396
4	0.0664	0.0716	0.1653	0.2213	-	-	0.3806	-	0.1290323	0.5664029	0.537173	0.7226071
5	0.0618	0.054	0.198	0.2628	-	-	-	-	0.1935484	0.5469462	0.524761	0.7059106
6	0.0112	0.0137	0.2055	-	-	-	-	-	0.1935484	0.5069692	0.4982043	0.6701863
7	0.00699	0.01251	-	-	-	-	-	-	0.1612903	0.4633123	0.4675049	0.6288893
8	0.0158	-	-	-	-	-	-	-	0.2580645	0.1855798	0.2230811	0.3000895
9	0.02	-	-	-	-	-	-	-	0.2580645	0.1803938	0.2175815	0.2926914
10	0.00731	0.01634	-	-	-	-	0.72233	-	0.1935484	0.4663138	0.4696744	0.6318078
11	0.0483	0.0561	-	0.2724	-	-	-	-	0.1290323	0.5015436	0.4944875	0.6651864
12	0.0087	0.0162	-	-	-	0.6497	-	-	0.1935484	0.4683725	0.4711573	0.6338026
13	0.0543	0.0708	-	0.2962	-	0.8483	-	-	0.1290323	0.5024126	0.4950846	0.6659897
14	0.0154	0.0206	0.1629	-	-	0.4254	-	-	0.1290323	0.5232406	0.509188	0.6849616

Tabla 4.7. Modelos Probit de Predicción de Somnolencia Destacados para la Población de Conductores de Carga del Autotransporte Federal.

Modelo	Significancia Variables								Parametro Cal.	Pseudo R'S 2		
	x9	x10	x11	x12	x13	x15	x16	x17	TMC	McFadden	r2ML	r2CU
1	0.1148	0.0771	0.1675	0.3469	0.9934	0.5558	0.3445	0.9489	0.1612903	0.5795674	0.5453866	0.7336561
2	0.103	0.078	0.159	0.333	0.992	0.558	0.344	-	0.1290323	0.5794799	0.5453324	0.7335833
3	0.0916	0.0669	0.135	0.3119	-	0.5199	0.3373	-	0.1290323	0.5794777	0.5453311	0.7335815
4	0.073	0.0574	0.1476	0.2572	-	-	0.3725	-	0.1290323	0.5696668	0.5392231	0.725365
5	0.0644	0.0388	0.19	0.3033	-	-	-	-	0.1935484	0.5501327	0.5268164	0.7086754
6	0.0065	0.00752	0.20221	-	-	-	-	-	0.1935484	0.5151108	0.5037305	0.6776202
7	0.00321	0.00621	-	-	-	-	-	-	0.1612903	0.4724658	0.4740935	0.6377523
8	0.0104	-	-	-	-	-	-	-	0.2580645	0.1838322	0.2212321	0.2976023
9	-	0.012	-	-	-	-	-	-	0.2580645	0.1822946	0.2196017	0.2954091
10	0.00327	0.00882	-	-	-	-	0.72502	-	0.1612903	0.4754602	0.4762311	0.6406279
11	0.0512	0.0431	-	0.3012	-	-	-	-	0.1290323	0.5063906	0.4978092	0.6696549
12	0.00431	0.00864	-	-	-	0.67456	-	-	0.1935484	0.4770157	0.4773381	0.642117
13	0.0578	0.0554	-	0.3256	-	0.848	-	-	0.1290323	0.5073206	0.498444	0.6705088
14	0.00952	0.01324	0.16103	-	-	0.44584	-	-	0.1290323	0.5294212	0.5132967	0.6904887

## V. CONCLUSIONES.

Es muy probable que los porcentajes ligeramente mayores registrados en las pruebas PVT-B y Epworth con respecto a la STOP-BANG de la población general, se deban a que los sujetos con resultados de somnolencia excesiva diurna (Epworth) y letargo (PVT-B) pero bajo riesgo de apnea obstructiva de sueño (STOP-BANG), presentaban queja de sueño. De esta manera la relación entre los resultados críticos de los cuestionarios es mayor.

Con respecto al objetivo secundario, se propuso un número de horas máximas de conducción para las poblaciones de conductores de autobuses y carga, con base en el análisis del comportamiento visto en la gráfica de dispersión del tiempo de reacción versus horas de conducción de ambas poblaciones y consultando lo plasmado en normativas de otros países. Se propone un total de horas de conducción máxima por día y un descanso de media hora después de un periodo de conducción de cuatro horas, ya que se observó que después de un periodo de conducción después de este número de horas sin descanso su tiempo de reacción comienza tornarse aletargado. Es importante mencionar, que en la población de conductores de autobuses no es tan claro este comportamiento, ya que se encuentran más regulados entorno a las horas de conducción, pero lo que los hace incidir es su fisionomía traducida al riesgo de padecer apnea obstructiva de sueño AOS, ya que como se observó en la Figura 4.2, es esta población la que tiene mayor porcentaje de conductores con riesgo alto, situación que se refleja en el comportamiento de la gráfica de dispersión, por lo que se concluye que en esta población continúen con la regulación de horas de conducción, pero que a su vez se proporcione tratamiento a los sujetos con riesgo medio y alto de apnea obstructiva de sueño AOS, con alguno de los tratamientos mencionados en el marco teórico de este documento, evitando de esta manera el riesgo de somnolencia o aletargamiento durante la conducción.

Mediante la escala de somnolencia Karolinska se comprobó la primicia de que los conductores o personas en estado de somnolencia subestiman su estado de alerta y se autocalifican en buenas condiciones, aun cuando la prueba objetiva de sus tiempos de reacción refleja lo contrario. Mencionar también que ambas poblaciones de conductores son de cronotipo en su mayoría matutinas, de acuerdo al cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad, pero sus horarios de trabajo son totalmente contrarios, por lo que

prácticamente y erróneamente se les está fomentando a que desarrollen somnolencia durante su conducción o lo que es lo mismo, que sus tiempos de reacción se vuelvan aletargados al hacerlos manejar en horarios contrarios a la naturaleza del individuo.

Con respecto al objetivo principal, fue posible estimar un modelo de regresión logística Logit de buena aceptación para explicar y predecir el fenómeno de somnolencia en conductores del autotransporte federal en México, con variables relacionadas con el comportamiento al dormir o con los hábitos de sueño del conductor, así como también, variables de su fisionomía. Se comprueba que prácticamente no existe diferencia entre la significancia de las variables estimadas con base en modelos Logit, de las estimadas con modelos Probit, así como también, de los valores estimados de los parámetros calificadores del rendimiento de los modelos, que nos sirvieron para la elección del mejor.

Se realiza la elección del “Modelo 7” como el mejor para la población de conductores de autobuses del autotransporte federal, así como el “Modelo 4” y “Modelo 14” para la población de conductores de carga del autotransporte federal. Lo anterior debido a la significancia de sus variables, a que poseen el menor valor de tasa de mala clasificación y a sus valores de pseudo  $R^2$  que son buenos y en el caso de la población de conductores de carga son excelentes. Cabe destacar que, las variables independientes que estiman a estos modelos destacados son  $x_9$  que es igual al riesgo de padecer apnea obstructiva de sueño AOS,  $x_{10}$  que es igual a las horas conducidas durante el día,  $x_{11}$  que es la hora de conducción o de aplicación de la prueba,  $x_{12}$  que es igual a si el conductor realizó descansos entre el periodo de conducción inmediata anterior,  $x_{15}$  que es igual al número de horas dormidas la noche inmediata anterior y  $x_{16}$  que es igual al número de horas dormidas la última semana próxima al periodo de conducción evaluado. Por otro lado, sería conveniente comprobar el rendimiento de este modelo por un tercer parámetro como el diagnóstico de curvas ROC para verificar que su rendimiento es el mejor.

Si bien ya existen modelos de predicción de somnolencia, la aportación que realizan los modelos para las dos poblaciones realizadas en esta investigación, son importantes debido a la sencillez de sus variables, a la comodidad en la toma de los datos de las mismas respecto a la toma de otros modelos existentes que se realiza de manera invasiva, al bajo costo que

representa obtenerlas y por ende de la estimación del modelo y dispositivos posteriores. Además, de que la elección de si el operador conduce sería antes del inicio de un viaje y no en el trayecto como ya algunos modelos lo realizan.

## VI. REFERENCIAS

- Aidman, E., Chadunow, C., Johnson, K., & Reece, J. (2015). Real-time driver drowsiness feedback improves driver alertness and self-reported driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 8-13.
- Arana Lechuga, D. Y., Sánchez Escandón, Ó., Esqueda León, E., Miranda Casarubia, M., Rojas Zamorano, J., Ruiz Chow, Á., Santana Miranda, R., Terán Pérez, G., Velázquez Moctezuma, J. (2011). *Compendio de fisiología y medicina del sueño*. México: Grapondi de México.
- Basner, M., Mollicone, D., & Dinges, D. F. (2011). Validity and sensitivity of a brief psychomotor vigilance test (PVT-B) to total and partial sleep deprivation. *Acta Astronautica*, 69, 949-959.
- Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2012). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *in press*.
- Buckley, R. J., Helton, W. S., Innes, C. R., Dalrymple-Alford, J. C., & Jones, R. D. (2016). Attention lapses and behavioural microsleeps during tracking, psychomotor vigilance, and dual tasks. *Consciousness and Cognition*, 45, 174-183.
- Caldwell, J. A., Prazinko, B., & Caldwell, J. L. (2003). Body posture affects electroencephalographic activity and psychomotor vigilance task performance in sleep-deprived subjects. *Clinical Neurophysiology*, 1, 23-31.
- Chen, C., & Xie, Y. (2014). Modeling the safety impacts of driving hours and rest breaks on truck drivers considering time-dependent covariates. *Journal of Safety Research*, 51, 57-63.

- Chung, F., Abdullah, H. R., & Liao, P. (2016). STOP-Bang Questionnaire A Practical Approach to Screen for Obstructive Sleep Apnea. *CHEST*, 3, 631-638.
- Damousis, I. G., & Tzovaras, D. (2008). Fuzzy fusion of eyelid activity indicators for hypovigilance-related accident prediction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9(3), 491–500.
- da Silveira, T., Kozakevicius, A. J., & Rodrigues, C. R. (2016). Automated drowsiness detection through wavelet packet analysis of a single EEG channel. *Expert Systems With Applications*, 55, 1-31.
- Dauvilliers, Y., Lopéz, R., & Lecendreux, M. (2016). French consensus. Hypersomnolence: Evaluation and diagnosis. *Revue Neurologique*, In Press.
- Davis, C. M., Roma, P. G., & Hienz, R. D. (2016). A rodent model of the human psychomotor vigilance test: Performance comparisons. *Journal of Neuroscience Methods*, 259, 57-71.
- de Dios Ortuzar, J., & Willumsen, L. G. (2011). *MODELLING TRASPORT*. New Delhi, India: John Wiley & Sons.
- Díaz Morales , J. F., & Aparicio García, M. (2003). Relaciones entre matutinidad- vespertinidad y estilos de personalidad. *Anales de psicología*, 19, 247-256.
- Diario Oficial de la Federación. 14 de mayo de 1982. Convenio internacional del trabajo No. 153 sobre duración del trabajo y períodos de descanso en los transportes por carretera.
- Dorrian, J., Baulk, S. D., & Dawson, D. (2011). Work hours, workload, sleep and fatigue in Australian Rail Industry employees. *Applied Ergonomics*, 42, 202-209.
- Ersal, T., Fuller, H. J. A., Tsimhoni, O., Stein, J. L., & Fathy, H. K. (2010). Model-based analysis and classification of driver distraction under secondary tasks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11, 692–701.

- Gorgoni, M., Ferlazzo, F., Ferrara, M., Moroni, F., D'Atri, A., Fanelli, S., De Gennaro, L. (2014). Topographic electroencephalogram changes associated with psychomotor vigilance task performance after sleep deprivation. *Sleep Medicine*, 15, 1132-1139.
- Haraldsson, P., & Akerstedt, T. (2001). Drowsiness-greater traffic hazard than alcohol. Causes, risks and treatment. *Lakartidningen*, 98, 3018–3023.
- He, J., Choi, W., Yang, Y., Lu, J., Wu, X., & Peng, K. (2017). Detection of driver drowsiness using wearable devices: A feasibility study of the proximity sensor. *Applied Ergonomics*, In press.
- Hirshkowitz, M. (2014). Drowsiness. *Encyclopedia of the Neurological Sciences*. Elsevier, Houston, TX, USA, 1(2), 1034.
- Horne, J. A. y Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.
- Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*. Toronto, Canada.: John Wiley & Sons.
- Jackson, M. L., Kennedy, G. A., Clarke, C., Gullo, M., Swann, P., Downey, L. A., Howard, M. E. (2016). The utility of automated measures of ocular metrics for detecting driver drowsiness during extended wakefulness. *Accident Analysis and Prevention*, 87, 127–133.
- Jo, J., Lee, S. J., Park, K. R., Kim, I.-J., & Kim, J. (2013). Detecting driver drowsiness using feature-level fusion and user-specific classification. *Expert Systems with Applications*, in press.
- Johns, M. W., Chapman, R., Crowley, K., & Tucker, A. (2008). A new method for assessing the risks of drowsiness while driving. *Somnologie*, 12, 66–74.

- Khushaba, R., Kodagoda, S., Lal, S., & Dissanayake, G. (2013). Uncorrelated fuzzy neighborhood preserving analysis based feature projection for driver drowsiness recognition. *Fuzzy Sets and Systems*, 221, 90–111.
- Kircher, A., Uddman, M., & Sandin, J. (2002). Vehicle control and drowsiness. *Swedish National Road and Transport Research Institute. In press*
- Laverde López, M. C. (2015). Validación colombiana de la escala de somnolencia de Karolinska. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Lenné, M. G., & Fitzharris, M. (2016). *Real-time feedback reduces the incidence of fatigue events in heavy vehicle fleets. 23rd ITS World Congress, Melbourne, Australia, Paper number ITS-AN-SP0293, 1-12.*
- Liang, Y., Horrey, W. J., Howard, M. E., Lee, M. L., Anderson, C., Shreeve, M. S., Czeisler, C. A. (2017). Prediction of drowsiness events in night shift workers during morning driving. *Accident Analysis and Prevention*, In press.
- Liu, C. C., Hosking, S. G., & Lenn, M. G. (2009). Predicting driver drowsiness using vehicle measures: Recent insights and future challenges. *Journal of Safety Research*, 40, 239–245.
- Lomelí, H., Pérez Olmos, I., Talero Gutiérrez, C., Moreno, C., González Reyes, R., Palacios, L., Muños Delgado, J. (2008). Escalas y cuestionarios para evaluar el sueño: una revisión. *Actas Esp Psiquiatr*, 36, 50-59.
- Malik, A. S., & Amin, H. U. (2017). Drivers' Drowsiness. in A. S. Malik, & H. U. Amin, *Designing EEG Experiments for Studying the Brain* (págs. 181-190). London: Elsevier.
- Mansfield, D., & Kryger, M. (2015). Regulating danger on the highways: hours of service regulations. *Sleep Health*, 1, 311–313.

- Matthews, R. W., Ferguson, S. A., Sargent, C., Zhou, X., Kosmadopoulos, A., & Roach, G. D. (2015). Using interstimulus interval to maximise sensitivity of the Psychomotor Vigilance Test to fatigue. *Accident Analysis and Prevention*, In press.
- Mohammad, F., Mahadas, K., & Hung, G. K. (2017). Drowsy driver mobile application: Development of a novel scleral-area detection. *Computers in Biology and Medicine*, In press.
- Murata, A., Fujii, Y., & Naitoh, K. (2015). Multinomial logistic regression model for predicting driver's drowsiness using behavioral measures. *Procedia Manufacturing*, 3, 2426 – 2433.
- Obregón Biosca, S. A., Romero Navarrete, J. A., & Betanzo Quezada, E. (2015). La estadística en los estudios movilidad urbana en la Zona Metropolitana de Querétaro. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, 1-30.
- Patel, M., Lal, S. L. L., Kavanagh, D., & Rossiter, P. (2011). Applying neural network analysis on heart rate variability data to assess driver fatigue. *Expert Systems with Applications*, 38, 7235–7242.
- Picot, A., Charbonnier, S., & Caplier, A. (2011). EOG-based drowsiness detection: Comparison between a fuzzy system and two supervised learning classifiers. *Proceedings of the 18th World Congress*. Milano: The International Federation of Automatic Control, 14283-14288.
- Philip, P., Sagaspe, P., & Taillard, J. (2017). Drowsiness in Transportation Workers. En M. Kryger, T. Roth, & W. C. Dement, *Principles and Practice of Sleep Medicine* (págs. 708-713). Philadelphia: Elsevier.
- Pulitov, A. A., & Donskaya, O. G. (2013). Construction and validation of the EEG analogues of the Karolinska sleepiness scale based on the Karolinska drowsiness test. *Clinical Neurophysiology*, 124, 1346-1352.

- Rey, J., Gallo, J., & Loureiro, H. (2004). Cansancio y somnolencia en conductores de ómnibus y accidentes de carretera en el Perú: estudio cuantitativo. *Revista Panamericana de Salud Publica*, 16, 11-18.
- Romero Navarrete, J. A., Martínez Madrid, M., Betanzo Quezada, E., Ramírez Cano, O., & Fortanell Romeri, J. M. (2004). Aspectos de la fatiga del conductor y estudio de las tecnologías para detectarla y prevenirla. *Instituto Mexicano del Transporte y Secretaría de Comunicaciones y Transportes*, 241, 1-52.
- Rubio Sánchez, P. (2003). Tools for measuring excessive daytime sleepiness. *Vigilia-Sueño*, 15, 2, 118-124.
- Sandoval Rincón, M., Alcalá Lozano, R., Herrera Jiménez, I., & Jiménez Genchi, A. (2013). Validación de la escala de somnolencia de Epworth en población mexicana. *Gaceta Médica de México*, 149, 409-416.
- Schömig, N., Hargutt, V., Neukum, A., Petermann-Stock, I., & Othersen, I. (2015). The interaction between highly automated driving and the development of drowsiness. *Procedia Manufacturing*, 3, 6652 – 6659.
- Schumacher, M.J. (2002). Nasal congestion and airway obstruction: the validity of available objective and subjective measures. *Current Allergy and Asthma Reports*, 2, 245–251.
- SCT (2016). Criterios Básicos de Diseño Vial. Dirección General de Servicios Técnicos, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (págs. 2-23). México: Diario Oficial de la Federación.
- SCT (2014). Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017. Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicaciones de jurisdicción federal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Diario Oficial de la Federación. 26 de diciembre de 2017.

- SCT (2018). Norma Oficial Mexicana NOM-087-SCT-2-2017. Que establece los tiempos de conducción y pausas para conductores de los servicios de autotransporte federal. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Diario Oficial de la Federación. 28 de junio de 2018.
- Shuyan, H., & Gangtie, Z. (2009). Driver drowsiness detection with eyelid related parameters by Support Vector Machine. *Expert Systems with Applications*, 36, 7651–7658.
- Solaz, J., Hernández, L., Bande, D., Rodríguez, N., Veleff, S., Gerpe, J., & Medina, E. (2016). Drowsiness detection based on the analysis of breathing rate obtained from real-time image recognition. *Transportation Research Procedia*, 14, 3867 – 3876.
- Sparrow, A. R., Mollicone, D. J., Kan, K., Bartels, R., Satterfield, B. C., Riedy, S. M., Van Dongen, H. P. (2016). Naturalistic field study of the restart break in US commercial motorvehicle drivers: Truck driving, sleep, and fatigue. *Accident Analysis and Prevention*, 93, 55–64.
- Sunwoo, J.-S., Hwangbo, Y., Kim, W.-J., Chu, M. K., Yun, C.-H., & Yang, K. I. (2017). Sleep Characteristics Associated With Drowsy Driving. *Sleep Medicine*, In press.
- Tan, A., Yin, J. D., Tan, L. W., van Dam, R. M., Cheung, Y. Y., & Lee, C.-H. (2016). Predicting obstructive sleep apnea using the STOP-Bang questionnaire in the general population. *Sleep Medicine*, 27, 66-71.
- Torkkola, K., Massey, N., & Wood, C. (2004). Driver inattention detection through intelligent analysis of readily available sensors. *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Washington: IEEE, 326–331.
- Tran, Y., Craig, A., Wijesuriya, N., & Nguyen, H. (2010). Improving classification rates for use in fatigue countermeasure devices using brain activity. *In Proceedings of IEEE international conference on engineering in medicine and biology society (EMBC)*, Buenos Aires: IEEE, 4460–4463.

- Wang, J., Sun, S., Fang, S., Fu, T., & Stipanovic, J. (2017). Predicting drowsy driving in real-time situations: Using an advanced driving simulator, accelerated failure time model, and virtual location-based services. *Accident Analysis and Prevention*, 99, 321-329.
- Wang, X., & Xu, C. (2015). Driver drowsiness detection based on non-intrusive metrics considering individual specifics. *Accident Analysis and Prevention*, 95, 350-357.
- Yang, J. H., Mao, Z.-H., Tijerina, L., Pilutti, T., Coughlin, J., & Feron, E. (2009). Detection of driver fatigue caused by sleep deprivation. *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics. A, Systems Humans*, 39, 694-705.
- Yang, Y., & Chung, F. (2013). A Screening Tool of Obstructive Sleep Apnea STOP-Bang Questionnaire. *Sleep Med Clin*, 8, 65-72.

## VII. APÉNDICE

### Anexo 1. Cuestionario STOP-Bang actualizado.

#### Cuestionario STOP-Bang actualizado

---

- Si No  
● ● **¿Ronquidos?**  
**¿Ronca fuerte (tan fuerte que se escucha a través de puertas cerradas o su pareja lo codea por roncar de noche)?**
- Si No  
● ● **¿Cansado/a?**  
**¿Se siente con frecuencia cansado, fatigado, o somnoliento durante el día (por ejemplo, se queda dormido mientras conduce)?**
- Si No  
● ● **¿Lo observaron?**  
**¿Alguien lo observó dejar de respirar o ahogarse/con dificultad para respirar mientras dormís?**
- Si No  
● ● **¿Presión?**  
**¿Tiene o está recibiendo tratamiento para la presión arterial alta?**
- Si No  
● ● **¿Índice de masa corporal de más de 35 kg/m<sup>2</sup>?**
- Si No  
● ● **¿Tiene más de 50 años?**
- ¿El tamaño de su cuello es grande? (Medido alrededor de la nuez o manzana de Adán)**
- Si No  
● ● **Si es hombre, ¿el cuello de su camisa mide 17 pulgadas/43 cm o más?**  
**Si es mujer, ¿el cuello de su camisa mide 16 pulgadas/41 cm o más?**
- Si No  
● ● **Sexo = ¿Masculino?**

## Anexo 2. Cuestionario Epworth.

### Escala de somnolencia Epworth. Versión mexicana UAM/UNAM

Subraya la opción que describa como te haz sentido en las ultimas semanas.

Por favor responde que posibilidad tendrías de quedarte dormido en las siguientes situaciones.

1.- Leyendo sentado cómodamente durante el día

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

2.- Viendo televisión durante el día.

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

3.- Sentado inactivo en un lugar público (ejem: en una conferencia, clase o en el cine).

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

4.- Viajando en trasporte público o privado durante más de una hora seguida.

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

5.- Acostado para descansar por la tarde cuando las circunstancias lo permiten.

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

6.- Sentado platicando con alguien.

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

7.- Sentado cómodamente después de comer (sin haber tomado bebidas alcohólicas).

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada 3 = Severa

8.- Manejando mientras espero unos minutos en el tráfico.

0 = ninguna, 1 = Leve, 2 = Moderada y 3 = Severa

### Anexo 3. Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad de Horne y Östberg.

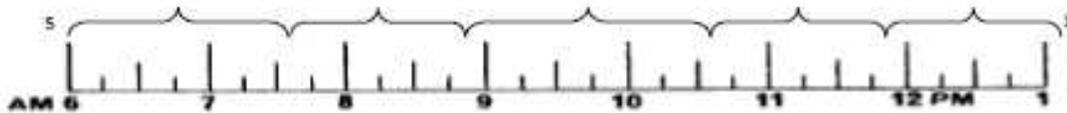
#### CUESTIONARIO DE MATUTINIDAD-VESPERTINIDAD DE HORNE Y ÖSTBERG

**Instrucciones**

Antes de contestar cada pregunta, léela atentamente por favor. Contesta todas las preguntas y hazlo consecutivamente una tras otra. Debes contestar cada pregunta independientemente de las demás. No vuelvas atrás para verificar tus respuestas. Todas las preguntas contienen respuestas preestablecidas.

En cada pregunta pon una cruz en una sola respuesta. Algunas preguntas muestran una escala, en este caso pon una cruz en el lugar apropiado de la escala. Contesta con toda sinceridad. Tanto las respuestas como los resultados se mantendrán en estricta reserva.

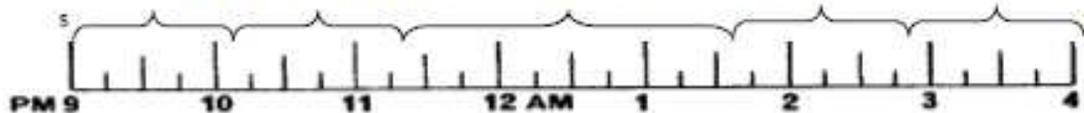
1. Considerando únicamente tu propio ritmo ¿a qué hora te levantarías si fueras enteramente libre para planificar el día?



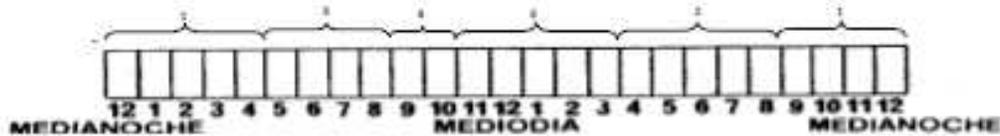
2. Durante la primera media hora después de haberte despertado por la mañana te encuentras...

1. Muy cansado	2. Bastante cansado	3. Bastante "fresco"	4. Muy "fresco"
----------------	---------------------	----------------------	-----------------

3. ¿A qué hora de la noche te encuentras cansado y sientes la necesidad de dormir?



4. ¿A qué hora del día crees que te encuentras mejor?



5. Suele hablarse de personas de tipo "matutino" y "vespertino" ¿De cuál de estos dos tipos te consideras?

6. Claramente "matutino"	4. Más "matutino" que "vespertino"	2. Más "vespertino" que "matutino"	0. Claramente "vespertino"
--------------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------

NOMBRE :	
SEXO: H M	EDAD:
FECHA:	
PUNTAJE:	TIPO:

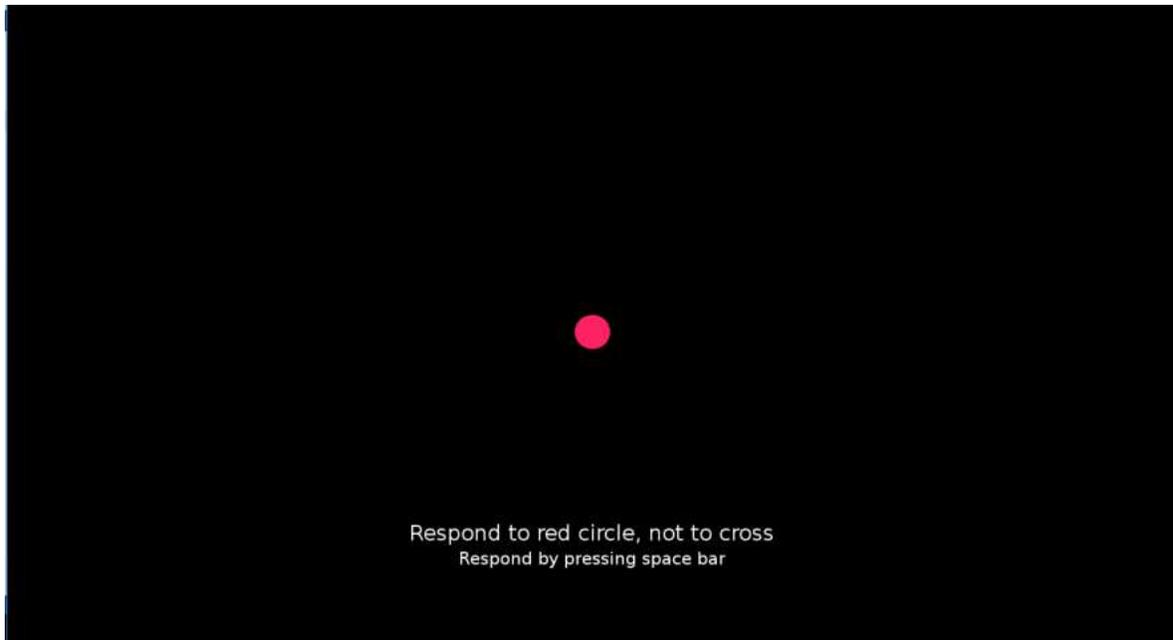
Anoche me fui a dormir a las:	Hoy me levanté a las:	Total de horas dormidas	¿Cómo te sentiste al levantarte?
—	—		o Descansado
am /pm	am/pm		o Algo cansado
			o Fatigado

#### **Anexo 4.** Cuestionario escala de somnolencia Karolinska

Encierre con un círculo el número que represente el nivel de somnolencia durante los cinco minutos inmediatamente anteriores:

1. Extremadamente despierto
2. Muy despierto
3. Despierto
4. Más o menos despierto
5. Ni despierto, ni somnoliento
6. Algunos signos de somnolencia
7. Somnoliento, pero sin esfuerzo de mantenerse despierto
8. Somnoliento, algún esfuerzo para mantenerse despierto
9. Muy somnoliento, gran esfuerzo para mantenerse despierto, luchando contra el sueño

#### **Anexo 5.** Interfaz de prueba PVT-B “Versión PVT de 3 minutos”.



**Anexo 6.** Lenguaje de programación modificado para la reproducción de prueba PVT-B “Versión PVT de 3 minutos”.

```
##### For use with PEBL 0.07 or later## http://pebl.sf.net## Part of The PEBL Psychological Test Battery## 2007 Release
variable giveFeedback## ##### * There are three different types of testing to determine whether## the experiment is co
64 ##set default variable values in case .par file is unavailable. parpairs <- [["testtype",3], ["usecon
ime is in totalTime)]; ##Type: 2 indicates a block-number limit (Number is in numBlocks); ##Type: 3 indicates a trial-nu
eplacement for both test types. timeIntervals <- [1000,2000,3000,4000] minTime <- Min(timeIntervals) maxTime <- Ma
(gInstructions) Draw() #####
inTime + RandomUniform(maxTime-minTime) isibin <- Floor(isi/1000)*1000 } else { isi <- First(curblock)
Show(gStim) Draw() time3<-GetTime() resp2 <- GetResponse(600000)##long timeout--1
##Total trial limit if((block >= numBlocks) and Length(curblock) == 0) { continue <-
+ Tab(1) + "Mean RT" + Tab(2) + "SD RT") PrintMe(reportfile,"-----")
e Window, etc. gWin <- MakeWindow("black") ##Initialize Font and colors if(gSubNum==0) { gSubNum <-
ht/2) Hide(gFeedback) ShowCursor(0)## This prints to both the file and the stdout.define PrintMe(file,text){ FilePri
delays by delays; ## then move through them and analyze subparts. rtX <- SortBy(rts,delays) deX <- Sort(delays) tria
f(1 == item) { count <- count + 1 } } return count}#Compute mediandefine Med(list){ if(Length(list)
} gTooFastText <- gStrings.toofast gFinalInst <- gStrings.debrief }
```

**Anexo 7.** Parámetros modificados para la reproducción de prueba PVT-B “Versión PVT de 3 minutos”.

**Editing parameters for .\battery\ppvt\params\ppvt.pbl**

Exit without saving    Reset to defaults    Parameters:    ppvt.pbl.par  
Save file and exit    New parameter set

testtype	1	Type of test to use. Type: 1 indicates a total time limit (time is in totalTime); Type 2 indicates a block-number limit (Number is in numBlocks) Type: 3 indicates a trial-number limit (number is numTrials). (default: [3])
usecontinuous	1	Determines whether the time presentation should be continuous or interval. That is, use specific delay times in script or uniformly/continuous sample between min and max. (default: [1])
givefeedback	0	Give feedback about RT and accuracy. (default: [0])
fixationtime	400	How long the fixation cross remains on, in ms (default: [400])
totalTime	180	Total time of the test in seconds, for type 1 (default: [180])
numBlocks	12	Number of repetitions of the interval set, for type 2 (default: [12])
numTrials	120	Number of total trials. (120 ==~ 10 minutes), for type 3 (default: [120])
TooFast	100	Trial is marked too fast if rt < this value (in ms) (default: [150])
Lapse	500	Trial is marked lapse if RT > this value (in ms) (default: [500])
Sleepattack	30000	Trial is 'sleep attack' if > this value (in ms) (default: [30000])
usemouse	0	Whether to use mouse (1) or spacebar (0) to make responses. 0=spacebar is traditional. (default: [1])

## Anexo 8.1. Cuestionario STOP-Bang versión para conductores UAQ/IMT

### Cuestionario STOP-Bang versión para conductores UAQ/IMT

---

#### PRIMERA PARTE

- Si No  
● ● ¿Ronquidos?  
¿Ronca fuerte (tan fuerte que se escucha a través de puertas cerradas o su pareja lo codea por roncar de noche)?
- Si No  
● ● ¿Cansado/a?  
¿Se siente con frecuencia cansado, fatigado, o somnoliento durante el día (por ejemplo, se queda dormido mientras conduce)?
- Si No  
● ● ¿Lo observaron?  
¿Alguien lo observó dejar de respirar o ahogarse/con dificultad para respirar mientras dormía?
- Si No  
● ● ¿Presión?  
¿Tiene o está recibiendo tratamiento para la presión arterial alta?
- Si No  
● ● ¿Índice de masa corporal de más de 35 kg/m<sup>2</sup>?
- Si No  
● ● ¿Tiene más de 50 años?
- ¿El tamaño de su cuello es grande? (Medido alrededor de la nuez o manzana de Adán)
- Si No  
● ● Si es hombre, ¿el cuello de su camisa mide 17 pulgadas/43 cm o más?  
Si es mujer, ¿el cuello de su camisa mide 16 pulgadas/41 cm o más?
- Si No  
● ● Sexo = ¿Masculino?

**Anexo 8.2.** Cuestionario STOP-BANG versión para conductores UAQ/IMT

**Segunda parte**

1. - Lugar de origen y hora de inicio del viaje \_\_\_\_\_

2. - Lugar y hora estimada de termino del viaje \_\_\_\_\_

3. - ¿Ha realizado pausas o descansos intermedios?                      **Si**                      **No**

Si respondió "Si" a la pregunta anterior, diga ¿donde y cuanto descansó? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Si respondió "No" diga porque \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. - ¿Ha ingerido algún alimento recientemente?                      **Si**                      **No**

Si respondió "Si" a la pregunta anterior, diga que consumió \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Si respondió "No" a la pregunta anterior, diga porque \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. - ¿Que material transporta? \_\_\_\_\_

6. - ¿Cuántas horas descansó la noche anterior? \_\_\_\_\_

7. - ¿Cuántas horas ha descansado esta ultima semana y mes? \_\_\_\_\_

8. - ¿Cuántas horas ha manejado esta ultima semana y mes? \_\_\_\_\_