



**Certificación ISO 9001:2000 ‡
Laboratorios acreditados por EMA §**

ASPECTOS DE LA FATIGA DEL CONDUCTOR Y ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA DETECTARLA Y PREVENIRLA

José Antonio Romero Navarrete
Miguel Martínez Madrid
Eduardo Betanzo Quezada
Oswaldo Ramírez Cano
Jesús Mateo Fortanell Romero

**Publicación Técnica No 241
Sanfandila, Qro, 2004**

**SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE**

**Aspectos de la fatiga del conductor y estudio
de las tecnologías para detectarla y
prevenirla**

**Publicación Técnica No. 241
Sanfandila, Qro. 2004**

Presentación

En el contexto del estudio de la seguridad carretera se presenta un estudio sobre tecnologías para prevenir y detectar la fatiga del conductor, incorporando una descripción del fenómeno y un estudio de caso.

La temática se incluye en la disciplina conocida como ergodinámica, y constituye uno de los primeros estudios sobre el tema en la coordinación de ingeniería vehicular e integridad estructural. Otros estudios involucrarán el uso de simuladores en el estudio de la fatiga y el entrenamiento de los conductores.

Índice

Resumen	IX
Abstract	XI
Resumen ejecutivo	XIII
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Estudios de la fatiga de conductores	3
1.2 Prevención de la conducción con altos niveles de cansancio	5
1.3 Objetivo y alcance	5
Capítulo 2. Tecnologías	7
2.1 Tecnologías para prevenir la fatiga del conductor	7
2.2 Tecnologías para detectar la fatiga del conductor	17
2.3 Tecnologías para prevención de accidentes debidos a la fatiga	21
Capítulo 3. Estudio de caso	23
3.1 Metodología	23
3.2 Datos	25
3.3 Discusión y conclusiones	31
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones	33
Referencias	35

Resumen

La fatiga al conducir es un fenómeno complejo, que implica disminuciones en los niveles de alerta y conciencia de parte del que maneja. Esta situación conlleva accidentes soslayables ante la identificación de situaciones peligrosas y por cuanto a evitar tomar riesgos. El cansancio mental, como el físico, provoca el adormecimiento del conductor, y representa un factor que contribuye a los accidentes al menos en el 24 % de ellos.

Las tecnologías preventivas al respecto, descritas en este trabajo se han clasificado en aquellas que tienen que ver con la comodidad del conductor, las relacionadas con el control de las horas de servicio; y en tercer lugar las orientadas a disminuir el esfuerzo mecánico y visual del chofer.

A su vez, las relativas a la comodidad del que maneja se han subclasificado en tecnologías para el aislamiento de vibraciones; en equipos para la creación de una atmósfera sana en el interior de la cabina; y en los desarrollos que disminuyen el efecto sobre el conductor, de las luces de los otros usuarios de los caminos.

Como tecnologías para detectar la fatiga en el operador, los equipos descritos en este trabajo se basan en el monitoreo de la condición física del individuo, y/o en el desempeño de su forma de manejar.

Se presenta un estudio de caso de accidentes en una empresa transportista, en la que dos indicadores se identificaron como relacionados con la fatiga del conductor. Estos son la hora a la que ocurren los percances y el número de vehículos involucrados.

Resumen

La fatiga al conducir es un fenómeno complejo, que implica disminuciones en los niveles de alerta y conciencia de parte del que maneja. Esta situación conlleva accidentes soslayables ante la identificación de situaciones peligrosas y por cuanto a evitar tomar riesgos. El cansancio mental, como el físico, provoca el adormecimiento del conductor, y representa un factor que contribuye a los accidentes al menos en el 24 % de ellos.

Las tecnologías preventivas al respecto, descritas en este trabajo se han clasificado en aquellas que tienen que ver con la comodidad del conductor, las relacionadas con el control de las horas de servicio; y en tercer lugar las orientadas a disminuir el esfuerzo mecánico y visual del chofer.

A su vez, las relativas a la comodidad del que maneja se han subclasificado en tecnologías para el aislamiento de vibraciones; en equipos para la creación de una atmósfera sana en el interior de la cabina; y en los desarrollos que disminuyen el efecto sobre el conductor, de las luces de los otros usuarios de los caminos.

Como tecnologías para detectar la fatiga en el operador, los equipos descritos en este trabajo se basan en el monitoreo de la condición física del individuo, y/o en el desempeño de su forma de manejar.

Se presenta un estudio de caso de accidentes en una empresa transportista, en la que dos indicadores se identificaron como relacionados con la fatiga del conductor. Estos son la hora a la que ocurren los percances y el número de vehículos involucrados.

Abstract

Road accidents are the result of complex interactions between the vehicle, the driver, the infrastructure and the environment. However, reports indicate that human factors constitute one major element contributing to road mishaps, including driver impairment due to fatigue. Extensive research has thus been carried out regarding vigilance monitoring of vehicles, aimed to detect driver fatigue and to prevent associated accidents.

However, in spite of a great number of available technologies focused on driver fatigue prevention, detection and even correction, in the realm of intelligent transportation systems and safer automotive design, only a relatively small number of devices and systems have been incorporated into commercial truck technologies. OEM products designed to deal with driver fatigue are focused on reducing some driver effort and in detecting drowsy driver, including easier cabin steps and grab handles, reduced steering and shifting effort, enhanced visibility, devices for lane departure warning and noise isolation. Such devices, however, represent the implementation of only a few of the ideated technological devices.

In this publication a review of the technologies available to prevent and to detect driver fatigue is presented, including those systems designed to prevent accidents derived from a fatigued driver situation. The operation principles of the different devices and systems are described and discussed. Previous reviews on fatigue prevention and detection technologies have narrowed the scope to testing some new technologies, without consideration of promising conceptual designs.

It is also included in this publication a case study of road accidents in a specialized transportation company. Time of day for the accidents and the number of vehicles involved suggest that fatigue is a factor in that company's accident record. However, the company identifies only one accident as driver fatigue related.

Resumen ejecutivo

El fenómeno de la fatiga al conducir se ha sido reconocido como un elemento que contribuye a la existencia de accidentes viales, con porcentajes de participación que varían de acuerdo con el autor. Sin embargo, cifras conservadoras indican que la fatiga es un factor representativo en el 24% de los accidentes.

La fatiga ha recibido diversas acepciones y definiciones, que han evolucionado conforme el índice de conocimiento sobre las causas y síntomas de su existencia. De esta manera, se ha manejado la idea de fatiga mental en la que no necesariamente se implica un estado de cansancio físico. La fatiga física también se ha identificado como resultado de aspectos biológicos, en tanto que la mental como una combinación con cuestiones físicas que ponen en riesgo la seguridad vial. Sin embargo, el efecto final de cualquier tipo de fatiga consiste en la disminución de los estados de alerta, que se manifiestan finalmente en somnolencia al manejar.

Se presenta una revisión de la literatura de las tecnologías hasta ahora desarrolladas o ideadas para prevenir y/o detectar la fatiga de conductores de vehículos pesados, ante la perspectiva de que ésta se correlaciona directamente con una gran cantidad de accidentes. Las tecnologías preventivas se han clasificado en aquellas que tienen que ver con la comodidad del chofer, con las relativas al control de las horas de servicio; y finalmente con las orientadas a disminuir el esfuerzo mecánico y visual del operador.

A su vez, las que aluden a la comodidad se han subclasificado en tecnologías para el aislamiento de vibraciones; en equipos para la creación de una atmósfera sana en el interior de la cabina; y en los desarrollos que disminuyen el efecto que ejercen las luces de los otros usuarios de los caminos. Las relacionadas con la detección de la fatiga, los equipos descritos se basan en el monitoreo de la condición física del conductor, y/o en el desempeño de su manejo.

La mayor cantidad de tecnologías identificadas se asocia con la prevención de la fatiga, reportándose esquemas comerciales, ya disponibles en el mercado. Como conclusión se tiene la existencia de una gran cantidad de recursos tecnológicos, los cuales, al estar orientados a prevenir o detectar la fatiga de los conductores, pueden mejorar la seguridad vial de las unidades pesadas.

Con objeto de identificar la importancia de la fatiga con un ejemplo práctico, se presenta un análisis de los accidentes de vehículos pertenecientes a una empresa transportista, caracterizándolos en cuanto a la posibilidad de que su causalidad esté relacionada con la fatiga o cansancio de los operadores de las unidades. El estudio es preliminar, y ha abarcado sólo una pequeña muestra de 40 accidentes,

de los cuales 18 se considera estuvieron relacionados con los factores humanos en el transporte.

La metodología para establecer la conexión entre los accidentes y la fatiga se basó en la caracterización de las circunstancias de ocurrencia del accidente por cuanto a la hora del día; el día de la semana; el número de vehículos involucrados; el trazo de la carretera; el tipo de camino, y el nivel de tráfico. De entre los 18 accidentes analizados, sólo uno fue reportado por la empresa como producto de la fatiga del conductor. Los resultados del análisis de los percances sugieren una relación entre la fatiga del conductor y los accidentes seleccionados. El indicador más sobresaliente de esta situación consiste en la hora del día en el que ocurrió el accidente, y el número de vehículos involucrados. El primero ubica el suceso en el periodo conocido como “post-almuerzo”, mientras que los correspondientes a un sólo vehículo denotan una falta de atención, o una propensión a tomar riesgos.

1 Introducción

En el más general de los conceptos, la seguridad ha sido definida como (Sweet, 1996):

“Una condición que se alcanza a través del proceso sistemático de identificar posibles riesgos, y de desarrollar e implementar programas de seguridad y de regulación para minimizar esos riesgos, los cuales estén orientados a la prevención de la pérdida de vidas y daños a la propiedad o al ambiente, derivados de accidentes o incidentes”.

Este carácter preventivo ha sido refinado y complementado al incorporar los conceptos de seguridad activa y seguridad pasiva. Mientras que la seguridad activa engloba todas aquellas acciones y consideraciones tendientes a prevenir o disminuir la ocurrencia de accidentes, la pasiva atiende el desarrollo de equipos y procedimientos que buscan minimizar las lesiones sufridas por las personas ante posibles accidentes (Mayenburg, 1996). De esta forma, mientras que la seguridad activa busca eliminar la ocurrencia de accidentes, la pasiva procura disminuir los efectos en quienes sufrieron algún percance. Un sistema de frenos antibloqueo constituye entonces un ejemplo de desarrollo en la seguridad activa, mientras que las bolsas de aire representan un equipamiento de seguridad pasiva.

La seguridad activa engloba una serie de acciones y medidas que en el contexto de la seguridad vial, tratan de disminuir la probabilidad de la ocurrencia de accidentes. Estas medidas implican un cúmulo de enfoques que involucran distintos aspectos socioeconómicos, técnicos y culturales. Respecto a los socioeconómicos se tiene, por ejemplo, que mediciones de accidentalidad han demostrado que la probabilidad de los accidentes es una función del tipo de arreglo económico entre los camioneros y las empresas que los contratan, de tal suerte que el pago por hora, en vez de kilómetro recorrido, disminuye en alguna medida la incidencia (10.2 % menos susceptibles de sufrir accidentes (TT, 2000)). Asimismo, que incrementar en un 10% los salarios de los camioneros hace disminuir casi en un 2% la accidentalidad (TT, 2000). Otro aspecto socioeconómico íntimamente ligado, lo conforma el número reglamentario de horas de servicio continuas de los conductores de camiones, el cual depende de las legislaciones domésticas, provinciales y estatales de los distintos países.

De entre las causas de accidentes, y estrechamente relacionada con los aspectos socioeconómicos del transporte, se ha identificado a la fatiga o cansancio extremo del conductor como un elemento de constante presencia en el análisis de accidentes (FMCSA, 1996). De acuerdo con el *National Transportation Safety Board* (NTSB, 1995), en los accidentes en Estados Unidos entre 1991 y 1993, la

fatiga alcanzó un alto porcentaje de ellos (entre el 30 y 40%). Como consecuencia de estas cifras, la fatiga del conductor ha sido reconocida desde entonces como el asunto de mayor relevancia en lo que se refiere a la seguridad vial (Wylie, 2000), dando lugar a numerosos estudios enfocados a estudio de la naturaleza y causalidad de la fatiga de los conductores. Asimismo, ha conllevado a importantes desarrollos tecnológicos, cuya finalidad primordial es hacer que el operador se canse menos durante su labor, así como un buen número de estudios (FMCSA, 1996; FORS, 1997) y a la planeación de otros más (NHTSA/NCSDR, 1999).

Dichos estudios son en general a largo plazo e interdisciplinarios, y de alto costo y complejidad. Las disciplinas que intervienen corresponden a la psicología y la ergonomía, derivando en una ciencia de reciente cuño, conocida como *ergodinámica*, o sea, la disciplina que trata acerca de la dinámica de las estructuras y estrategias de la conducta humana; las percepciones; el pensamiento; las destrezas en el trabajo, y la creatividad (Venda, 1995).

La fatiga representa una alteración en los niveles de conciencia y de percepción del conductor, la cual afecta procesos psicomotores que son cruciales para un manejo seguro (Wylie et al, 1998). Es producto de causas tales como un número excesivo de horas de servicio; un déficit de horas de sueño; manejo nocturno, y tener horarios irregulares de trabajo-descanso (Kaur, 1999). Aunque estos elementos podrían ser difíciles de identificar en el caso de algunas empresas con regimenes regulares de conducción (repartidores de productos, básicamente), es necesario un análisis preliminar para desechar estas causales de accidentes. Sobre todo porque el operador puede llegar a trabajar con algún déficit de sueño, originado por diversas causas.

La fatiga es un fenómeno extremadamente complejo de analizar, debido a que son muchos los factores que intervienen. Implica alteraciones en los niveles de conciencia y de percepción del conductor, las cuales afectan procesos psicomotores cruciales para un manejo seguro. Esto es, en cuanto a la velocidad de reacción, niveles de atención y percepción, y en la toma de decisiones (Wylie, 1998).

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 ocurrir sin somnolencia y sin tener conciencia el conductor acerca de la reducción de sus capacidades de manejo seguro.

En cuanto a la somnolencia, es por lo general subestimada por los operadores (Wylie, 1998). Para complicar aún más la situación, se ha encontrado que la fatiga es en parte una experiencia subjetiva, caracterizada por la falta de motivación, sentimientos de aburrimiento e incomodidad, lo cual induce a una resistencia a continuar manejando, afectando la atención que el chofer presta a su labor y a la correcta toma de decisiones (Wylie, 1998).

Como causas de fatiga, manifestada por estados alterados de conciencia y percepción, somnolencia y por los síntomas subjetivos señalados, se incluyen las siguientes (Kaur, 1999):

- Número excesivo de horas de trabajo
- Número inadecuado de horas de sueño
- Conducción nocturna
- Horarios irregulares de trabajo-descanso

Esta caracterización pone de manifiesto la relativa simplicidad de las causas, y también de soluciones sencillas a través de administrar las horas de servicio; sin embargo, aparentemente dichas medidas no han sido suficientes para realizar una conducción segura, libre de estados de cansancio extremo o fatiga. De esta forma, en todos los ámbitos de la ingeniería de transporte se han promovido medidas para disminuir, y para detectar condiciones de fatiga de los operadores.

Estos desarrollos implican desde la concepción de sistemas que hagan más cómodo el ambiente de trabajo del conductor, hasta franjas de advertencia (zumbadores) en las líneas de acotamiento de las carreteras (Garder, 1995). La variedad de ideas es amplia, incluyendo aspectos tan sutiles como la sincronización de los limpiaparabrisas (Stronczek, 2000).

Es importante señalar que los esfuerzos por disminuir la fatiga implican efectos favorables a corto y largo plazos. Mientras que asientos equipados con soportes lumbares pueden asegurar una disminución a corto plazo de la fatiga, a largo plazo tales dispositivos pueden reducir la afectación músculo-esquelética de los conductores (Smyrlis, 2000).

1.1 Estudios de la fatiga de conductores

Como consecuencia de la importante liga detectada entre la fatiga del conductor y la accidentalidad, ha surgido una gran cantidad de estudios en la perspectiva de reducir la enorme pérdida de recursos económicos derivados de los accidentes, así como de padecimientos y sufrimientos humanos (Veeraraghavan, 2001; Kaur, 1999). El aspecto más atendido en las investigaciones es la búsqueda de correlaciones entre la fatiga del chofer y su desempeño de manejo mediante caracterizar distintos niveles de somnolencia, entendiéndose como estados que eventualmente conducen a la pérdida de la conciencia (Taoka, 1998). La fatiga ha sido entonces, el tema de múltiples investigaciones relacionadas con los *factores humanos* en el transporte.

La detección del nivel de fatiga se ha basado en enfoques que combinan las características de la conducción del vehículo y aquellas del comportamiento psico-fisiológico del individuo. Por su parte, el estudio del comportamiento fisiológico del

que maneja destaca fundamentalmente el monitoreo del comportamiento de los ojos por cuanto a periodos de apertura y cerramiento, frecuencia de parpadeo, la caída potencial de los párpados, así como su movimiento (dinámica ocular) (NHTSA, 1998).

Un estudio exhaustivo acerca de la fatiga en operadores de vehículos pesados fue coordinado por el Departamento del Transporte de EUA (*Driver Fatigue and Alertness Study*)(FMCSA, 1996). Duró siete años, e involucró a varias instituciones de Estados Unidos y Canadá (*Federal Highway Administration, Transport Canada*), como respuesta a una orden del Congreso Norteamericano. Comprendió una gran cantidad de pruebas del comportamiento de los operadores, incluyendo enfoques relacionados con aspectos fisiológicos y mentales. Como elementos de monitoreo de la fisiología del conductor se consideraron los siguientes:

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

En cuanto al ambiente físico que rodea al operador, se tomaron temperatura, humedad y contenido de monóxido de carbono en la cabina, habiendo arrojado los siguientes resultados:

- El factor que más fuertemente influye en la fatiga y su nivel de alerta, es la hora del día
- El peor desempeño del conductor se detectó durante el periodo nocturno de manejo (medianoche hasta al amanecer)
- Otros parámetros de operación, como el número acumulado de horas de manejo o el número de viajes, presentaron una menor correlación con un desempeño pobre de los conductores, al compararlos con el factor de hora de manejo
- En forma aproximada, se observó un nivel de cansancio del conductor en el 4.9% del tiempo del video obtenido de la conducción
- Durante el periodo nocturno, el 14% del tiempo analizado de video del conductor, evidenció niveles de somnolencia
- El 0.008 % del tiempo analizado de video exhibió conductas del conductor cercanas al adormecimiento en su etapa inicial
- El 36% de los conductores nunca exhibieron conductas de somnolencia
- Los conductores exhibieron importantes niveles de diferencias entre sí
- La edad de los conductores no fue un factor distintivo de desempeño
- El desempeño del operador fue influenciado por el diseño de la carretera, por las características del vehículo y por el tipo de tráfico

- Las variaciones en la dirección de la unidad y la falta de seguimiento del carril, fueron correlacionadas con el estado de fatiga
- Tomar una siesta representó la medida más efectiva para disminuir la fatiga

Otros estudios se han orientado a detectar niveles de fatiga con base en la posición de la cabeza del operador, y al estudio de sistemas para el fomento de niveles altos de alerta. Como ejemplo se tiene el caso de un equipo que a través de la vibración del asiento del conductor, pretende asegurar altos niveles de conciencia de parte de éste (Heitmann, 2001).

1.2 Prevención de la conducción con altos niveles de cansancio

Las medidas adoptadas por distintos organismos y empresas para evitar que los operadores de camiones trabajen con altos niveles de cansancio, van desde aspectos educativos hasta reglamentos más estrictos, y equipamientos especiales para detectar fatiga.

Se ha reconocido que la educación de los operadores tanto para reconocer signos de fatiga como para aplicar estrategias para mantener la atención, tiene un gran potencial en cuanto a mejorar la seguridad carretera (FOSR, 2000). Incluso se ha identificado la ingesta de estimulantes a base de cafeína, como una medida a corto plazo para superar los efectos de la fatiga, advirtiéndose sobre los peligros colaterales que esto implica, dado que el conductor tiende a volverse menos consciente de los riesgos que toma. Se ha reconocido también que aun medidas tales como el uso de un radio receptor representan actos efectivos para contrarrestar los efectos de la fatiga manteniendo así niveles aceptables de motivación y atención (FOSR, 2000).

1.3 Objetivo y alcance

El objetivo de este trabajo es presentar una perspectiva del estado que guardan las investigaciones en torno al desarrollo de equipos para prevenir y detectar la fatiga de los conductores, al mismo tiempo de revisar diversos aspectos relacionados con ésta. Por ello, se propone una serie de clasificaciones para los equipamientos relacionados con la fatiga, misma que facilite su estudio y potencial incorporación en la práctica del transporte carretero en general.

La importancia del fenómeno de la fatiga se pretende demostrar mediante un estudio de caso.

2 Tecnologías

Las tecnologías relacionadas con la prevención y detección de fatiga en operadores de camiones pesados constituyen elementos de seguridad activa de los vehículos, las cuales buscan prevenir la ocurrencia de accidentes. En este contexto, algunos otros elementos de seguridad activa se refieren al diseño óptimo de vehículos en cuanto a su estabilidad direccional y manejabilidad; la detección de situaciones cercanas a la volcadura; y los sistemas inteligentes de prevención de colisiones.

Los desarrollos tecnológicos que guardan alguna relación con la fatiga del operador al volante se han caracterizado en este trabajo de acuerdo con los siguientes objetivos:

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

Conforme lo anterior la fig 2.1 ilustra los tipos de equipos desarrollados. Los equipos específicos listados en este cuadro serán descritos en las siguientes secciones.

2.1 Tecnologías para prevenir la fatiga del conductor

En la literatura respectiva se encontró que en este campo es donde se ha encauzado la mayor cantidad de esfuerzos de desarrollo tecnológico, desde sistemas mejorados para disminuir los reflejos de las luces de los vehículos que viajan detrás del operador de interés, hasta controles inteligentes de las horas de servicio de los operadores. Estas tecnologías, implementadas o en la etapa conceptual se han clasificado de acuerdo con los siguientes objetivos particulares perseguidos:

- Comodidad del conductor
- Control de horas de servicio
- Disminución del esfuerzo mecánico y visual

A continuación se describirán las tecnologías existentes por cuanto a estos tres enfoques.

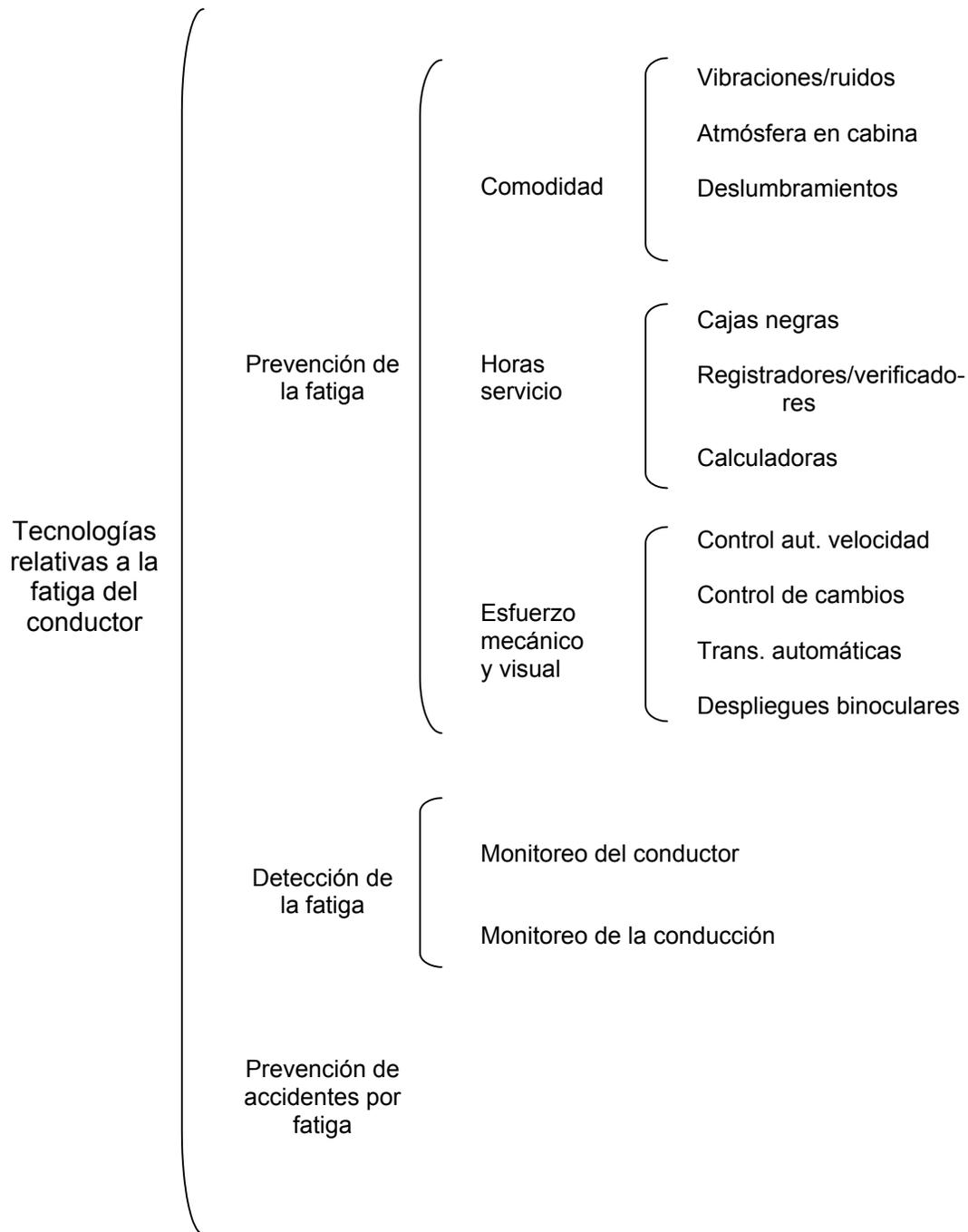


Fig 2.1.
Clasificación de las tecnologías relativas a la fatiga del conductor

2.1.1 Comodidad del conductor

Los desarrollos tecnológicos relacionados en ese tema tratan de aislar al conductor de las perturbaciones externas, en forma de vibraciones y ruido, olores y contaminantes, y de reflejos deslumbrantes.

2.1.1.1 Aislamiento de las vibraciones y del ruido

Los trabajos al respecto comprenden: 1) elementos que aíslan al vehículo completo de las perturbaciones derivadas de la rugosidad del pavimento; 2) elementos que aíslan a la cabina de las vibraciones del resto del vehículo, y 3) elementos que aíslan al operador de la vibración de la cabina.

Es importante señalar que el organismo humano está integrado por un conjunto de masas, las cuales son susceptibles de entrar en resonancia por efecto de perturbaciones externas. Por ejemplo, la frecuencia natural de vibración del sistema tórax-abdomen, al ser sometido a perturbaciones verticales se encuentra en un rango entre 3 y 4 Hz (Gierke, 1988). Otras frecuencias naturales han sido igualmente determinadas (Beard, 1997). Lo que se busca entonces, a través de los distintos dispositivos para el confort del conductor es aislar a éste de vibraciones cuyas frecuencias representen un riesgo para su salud o incrementen de manera peligrosa sus niveles de cansancio. Al respecto, se ha encontrado una estrecha relación entre las vibraciones recibidas por un conductor y la fatiga sufrida por éste (Foster et al, 2001). En cuanto al ruido que recibe el conductor, se ha establecido que la intensidad de esta perturbación debería ser inferior a los 70 dB (Smyrlis, 2001).

Se describen a continuación los equipos y dispositivos que buscan disminuir de manera global la vibración del vehículo.

Suspensión que elimina la vibración debida al diferencial. La empresa *ArvinMeritor* presentó en el 2001 (Sturgess, 2001), una suspensión tipo tándem la cual minimiza la vibración de los vehículos provocada por la diferencia de alturas entre el motor y el diferencial. Esto representa una refinación tecnológica en lo que se refiere a los niveles de vibración asociados a esta diferencia de alturas, siendo de baja magnitud si se comparan con los de las vibraciones debidas al paso de los vehículos por caminos irregulares. Sin embargo, tal diseño resulta de mucho interés por cuanto a que aparte de disminuir los niveles de vibración, reduce los niveles de ruido en la cabina.

Suspensión independiente de resortes helicoidales para ejes motrices. Schmitz y otros investigadores (2000) patentaron una suspensión modular de resortes independientes en espiral para ejes direccionales y no direccionales, motrices y no motrices. Consiste en resortes individuales de baja rigidez, sujetos al brazo inferior vertical de control y al bastidor del vehículo. La novedad de este arreglo es la

altura en la que las articulaciones de los brazos de control quedan dispuestos, lo que proporciona una carrera máxima para la rueda, disminuyendo con ello el empuje hacia atrás y la movilidad de la interfase llanta/pavimento. El empuje hacia atrás, derivado del accionamiento de los ejes motrices se reduce con esta suspensión y con ello, según los autores, se disminuye la fatiga del conductor. Archer (1998) propuso una suspensión semejante, señalando como ventaja adicional el que puede ser reducida la altura del bastidor.

Buje de rodillo. Link (1996) propuso un buje en los ojillos de pivoteo de las suspensiones de hojas, con objeto de minimizar las vibraciones e impactos sobre el vehículo y operador, derivadas del perfil de pavimento. La novedad es que el diseño integra un arreglo elíptico en el que el rodillo viscoelástico le proporciona elasticidad y amortiguamiento.

Bastidor partido para vehículos pesados. Por su parte Maloy (2001) propone un bastidor articulado para camiones, compuesto de tres secciones acopladas, a fin de aislar al conductor de vibraciones ocasionadas por irregularidades en el pavimento, incluyendo al pasajero que ocasionalmente viaja en el dormitorio de la cabina. Los distintos segmentos de este bastidor articulado poseen los medios para amortiguar la transmisión de vibraciones entre ellos.

Suspensión de aire para la quinta rueda de camiones articulados. Vitale (1997) planteó a manera de patente una suspensión en la quinta rueda de los vehículos articulados, cuya función principal es disminuir las vibraciones transmitidas al conductor, aminorando con ello la fatiga, y mejorando así la seguridad carretera. Tal equipo proporciona los acoplamientos lateral y longitudinal necesarios.

Llantas sencillas de base ancha contra llantas duales. La empresa Michelin reporta que el confort del conductor es mayor cuando se usan llantas anchas en vez de llantas en arreglos duales, en razón de la baja rigidez vertical de estas llantas sencillas de base ancha (McCormick, 2001).

Llantas sólidas. Considerando las ventajas potenciales de una llanta que absorba los impactos del pavimento, aun estando el vehículo descargado, Fukunaga (1998) patentó una llanta sólida la cual presentaría una mayor capacidad de carga, así como mejores propiedades elásticas con respecto a una llanta hueca convencional. Se señalan las ventajas de este tipo de llantas por cuanto a la suavidad de marcha, e incluso por cuanto a la no existencia de ponchaduras.

Dispositivo para la estabilidad aerodinámica del vehículo. Los vientos que en dirección transversal alcanzan al vehículo suelen generar perturbaciones, y con ello producir cansancio en el conductor al tratar de mantener una dirección dada. Este es un fenómeno relacionado con los flujos de aire y depresiones alrededor de las partes delantera y trasera de los vehículos provocando un cierto desalineamiento del eje longitudinal del vehículo con respecto al eje de la carretera. Towend (1999) ha patentado un dispositivo cuya finalidad es facilitar el

flujo transversal del aire a través de estabilizadores transversales colocados en la parte trasera de la carrocería. Algunos de estos estabilizadores pueden ir en la posición de las llantas.

A continuación se describen diversos desarrollos tecnológicos para aislar la cabina del conductor de las vibraciones del resto del vehículo.

Sistema de control de vibración. Delorenzis y otros investigadores (2001), diseñaron un sistema para minimizar la transmisión de vibración entre dos masas acopladas, usando para ello un “líquido compresible”. Las masas pueden ser el bastidor y la cabina, disminuyendo la fatiga de los conductores. Supuestamente, el sacudido longitudinal de los vehículos, durante las operaciones de arranque y cambio de la velocidad en la transmisión, también podría abatirse mediante este sistema. El “líquido compresible” consistiría de un compuesto orgánico semilíquido.

Suspensión activa para la cabina. En otro aspecto, Beard et al (1997) idearon una suspensión para cabinas, la cual tiene como algoritmo de operación la supresión de frecuencias bajas y altas de excitación al conductor. Eliminar frecuencias bajas implica menos fatiga del conductor y mejor manejo del camión, mientras que al reducir las frecuencias altas de la vibración se disminuye tanto la fatiga del conductor como el malfuncionamiento potencial de los instrumentos y equipos en la cabina, provocado eventualmente por la vibración de la misma.

Se aduce en la patente que las tecnologías disponibles hasta ahora para aislar la vibración en las cabinas, no son efectivas en el rango de frecuencias en el que el cuerpo humano es más sensible; esto es, entre 1 y 10 Hz. Además, se indica que tratándose de una vibración vertical, el abdomen entra en resonancia en un rango de 4 a 8 Hz, en tanto en los ojos la resonancia se presenta a 10 Hz. Igualmente, que al someterse a vibraciones angulares (de oscilación longitudinal o transversal), el torso superior entra en resonancia a frecuencias entre 1 y 2 Hz. De esta manera, el algoritmo tiene la ventaja de suprimir las frecuencias que potencialmente, más afectan a los humanos.

A continuación se describen los desarrollos tecnológicos que pretenden aislar al conductor de las vibraciones en la cabina.

Suspensión de bajo perfil para los asientos. Correspondió a Bostrom y otros investigadores (1999) proponer un mecanismo para la suspensión de los asientos de los camiones que, basado en el comúnmente empleado principio de tijera abatible, proporciona los medios para efectuar ajustes en la parte superior del mecanismo, y con ello modificar la posición longitudinal del asiento obteniendo así un asiento de bajo perfil, cuya ventaja es la de no limitar el espacio para el que maneja, facilitando la movilidad de éste y disminuyendo su fatiga. A diferencia de otros diseños, la tijera es totalmente colapsable.

Sistema de ajuste neumático del apoyo lumbar de asientos. Van Sickle (1999) obtuvo una patente por el desarrollo de un apoyo lumbar ajustable a las necesidades del conductor. Consiste en una bomba, una bolsa y un juego de interruptores que proporcionan el control deseado sobre el nivel de inflado de la bolsa de aire, la cual respalda al apoyo lumbar. Otro sistema de ajuste del soporte lumbar de los asientos lo patentó Lance (1998); se trata de una banda acojinada la cual posee varios accionamientos individuales que facilitan ajustes a las dimensiones antropomórficas de los distintos conductores.

2.1.1.2 Aislamiento de contaminantes en el interior de la cabina

Mercedora de un premio a la innovación tecnológica en Francia, la empresa VALEO (KOMPASS, 2001) desarrolló un sistema anticontaminantes y antiolores en el habitáculo de los vehículos, basado en un fotocatalizador. El sistema se desarrolló en cooperación con otros centros de investigación, buscando eliminar en gran medida los gases y polvos dañinos en el interior de la cabina, reduciendo con ello la fatiga del conductor y evitando las consecuencias en su salud. Se señala que tal sistema ayuda incluso a mejorar la competitividad de las empresas de transporte. Se señala que el conductor puede seleccionar alguna esencia de su preferencia.

2.1.1.3 Disminución de reflejos y deslumbramientos

Pantalla plegable antideslumbrable para conductores. Wooldridge (2000) diseñó y patentó un accesorio que elimina el deslumbramiento al conductor por el reflejo, sobre los espejos retrovisores exteriores, proveniente de los vehículos que vienen detrás. Se destaca en la patente la importancia en la seguridad vial al evitar el deslumbramiento del conductor. El desarrollo se efectuó conjuntamente con instituciones de investigación en optometría, las que reportan que por efecto del deslumbramiento, las distancias de frenado se llegan a aumentar hasta en 30 m (100 pies) al frenar desde una velocidad de 96 kph (60 mph).

Se señala que el deslumbramiento provoca una “imagen retrasada” en la retina, lo cual entorpece la habilidad del conductor para ver y reaccionar en una situación de este tipo. Se señala que esta imagen retrasada permanece en la retina por varios minutos, creando con ello un ambiente de manejo inseguro. Se señala asimismo que este fenómeno de deslumbramiento aumenta considerablemente la fatiga del conductor. Sin embargo, se reconoce que los espejos prismáticos retrovisores interiores han sido efectivos para evitar el deslumbramiento del conductor, lo que no es el caso de los espejos retrovisores exteriores. El dispositivo consiste en una malla elastomérica desmontable, colocada en la parte superior interior de la puerta del conductor, la cual va colocada en oposición directa al espejo retrovisor exterior.

Aparato para reducir el resplandor en un vehículo y su método asociado. El autor es DiNunzio (2000). Consiste en una luz interior dirigida a los ojos del conductor, de tal manera controlada que evita que llegue a deslumbrarse por luces exteriores. El efecto mejorado de este artefacto con respecto a otros, es que proporciona una fuente de luz uniforme a ambos ojos del operador. El principio de funcionamiento se deriva de mantener las pupilas cerradas hasta cierto nivel, dado que al permanecer totalmente abiertas, por efecto de una luminosidad baja en las carreteras, es mayor el riesgo de quedar deslumbrado el conductor al ser sometido a una luz intensa en el tráfico. Aunado a ello, se presenta una pérdida temporal de la visión, que provoca fatiga.

2.1.2 Control de horas de servicio

Como ha sido señalado, la fatiga de los conductores se correlaciona con desórdenes y excesos en los horarios de trabajo. Atendiendo este aspecto, es que varias tecnologías se han propuesto tanto para el monitoreo como para el control de las horas que permanece manejando un conductor dado. De esta manera, se han hecho sugerencias en el sentido de que cada camión debería contar con “cajas negras”, a fin de registrar las principales variables de operación de los vehículos, incluyendo las horas de servicio del operador. Asimismo, se han propuesto sistemas electrónicos para el registro automático de las horas de servicio. La aceptación de estos sistemas de monitoreo/control por parte de las asociaciones de camioneros está, sin embargo, todavía en discusión.

En un estudio costo-beneficio acerca del empleo de estos equipos, en su modalidad de registradores automáticos realizado por varias empresas en Estados Unidos, se encontró que mientras que los costos de inversión inicial y de mantenimiento anual son considerables (2000 y 200 dólares, respectivamente), su empleo ahorra tiempo al conductor al momento de efectuar sus reportes de horas de servicio.

A continuación se describen diversos sistemas para el monitoreo y control de las horas de servicio de los conductores de camiones.

Sistemas de monitoreo abordo, “cajas negras”. La *Federal Motor Carrier Administration* (FMCA), bajo un esquema de prueba piloto de tecnologías para la administración de la fatiga, probó en el año 2000 un equipo diseñado para monitorear la operación de los camiones. La FMCA señala que el equipo no debería considerarse como un medio de fiscalización, sino como una ayuda para la administración de las empresas transportistas y de los conductores, atribuyéndole a estos dispositivos cualidades importantes por cuanto al control de las horas de servicio prestadas por los conductores.

Sistema y método para registrar electrónicamente las horas de manejo. Thibault (2001) ha patentado un sistema y método para calcular, de manera automática, variables relacionadas con las horas de servicio de un operador. Consiste en transferir a una central de información y en tiempo real, toda la información concerniente a los tiempos de manejo. Dicha central tiene como función calcular los tiempos de manejo del operador, realimentándolo con los tiempos de manejo remanentes, en referencia a la normatividad vigente. El uso de este equipo se considera para fines de un control efectivo de las horas de manejo.

Registro verificado de las horas de manejo. Weiss (2002) patentó un equipo que permite sustituir los registros manuales elaborados por los conductores por un sistema de registro basado en un sensor de la huella digital del conductor. Con este esquema se pretende un registro fiel de las horas de servicio al explotar las ventajas de los sistemas electrónicos. Está compuesto de un procesador de datos, relojes y de elementos para el manejo de las señales de velocidad del vehículo, incluyendo los medios para evitar el uso de operadores “fantasma”. Los dispositivos pueden establecer los tiempos de manejo y no manejo, permitiendo una salida impresa del reporte de las horas de servicio.

Calculadora electrónica para determinar los registros de las horas de manejo. Es una calculadora especialmente programada para determinar las horas de manejo, verificando dicha información con la normatividad vigente (Lyons, 1999). En el documento de patente se señala que de manera tradicional, los cálculos de las horas de manejo los realiza el operador, empleando para ello una hoja manual de cálculo en donde el usuario anota los valores de tiempo y descanso de los últimos días, obteniendo los valores de horas de servicio remanentes para los siete u ocho días siguientes. Se señala que estos cálculos son susceptibles a errores, por lo que una calculadora electrónica podría evitarlos. El equipo incluye una pantalla de cristal líquido y una botonera convencional, permitiéndole al operador introducir los datos de los tiempos de manejo y de descanso efectuando la calculadora, de manera automática, los cálculos de los tiempos restantes de manejo para los siguientes días, según la normatividad vigente.

2.1.3. Disminución del esfuerzo mecánico y visual del Conductor

Se han diseñado diversos sistemas para disminuir el esfuerzo mecánico que el operador realiza durante su trabajo. Dichos desarrollos tecnológicos, descritos a continuación, involucran algunos aspectos relacionados con el confort del conductor.

Sistema de control automático de velocidad de automóviles. Taniguchi y otros investigadores (1998) desarrollaron un sistema de control de velocidad, el cual representa ventajas respecto a los modelos existentes, entre otras está que la velocidad del vehículo controlado se basa en el valor de velocidad que lleva el

automotor que le precede, por lo que el control automático tiene la capacidad de acelerar o decelerar al vehículo. El control se define con base en una distancia precalibrada de separación entre vehículos. En este caso, la caja de transmisión es automática. Otros autores se han enfocado hacia este tipo de sistemas (SAE, 1996).

Método y dispositivo para el control de cambios altos y bajos de la caja de velocidades. Este dispositivo combina el cambio manual de velocidades con un cambio automático, para los dos cambios “altos” de velocidades (While et al., 1999). En el caso de los cambios altos, el embrague se facilita por la no tan alta relación de velocidad entre el eje la flecha cardán y el motor. Se menciona que este equipo disminuiría la fatiga del conductor.

Sistema para el control de cambios, para una sección auxiliar de una transmisión vehicular compuesta. Cochran (2000) registró un arreglo electromecánico en el que el cambio de velocidades en una transmisión compuesta o asistida, se realiza con base en los parámetros de operación del vehículo. Las transmisiones compuestas son manuales, y poseen dispositivos de accionamiento (electroválvulas por lo general), que ayudan mecánicamente al conductor en los cambios de la palanca de velocidades. El sistema es novedoso por cuanto a considerar más parámetros de operación para el cambio de posición de la palanca de velocidades (principalmente, la velocidad del vehículo). Cochran señala que si bien las transmisiones totalmente automáticas representan ventajas con respecto a las compuestas o asistidas en lo que respecta a una menor fatiga del conductor, las transmisiones totalmente automáticas resultan altamente costosas, aparte de proveer un par de tracción disminuido, y ser energéticamente deficientes.

Aparato para el bloqueo del pedal del freno. Heo (1999) desarrolló un aparato para bloquear la posición del pedal del freno, mediante la manipulación de una palanca. Este dispositivo busca evitar que el vehículo quede sin accionamiento del freno en situaciones en las que el operador abandona temporalmente su vehículo, o está en reposo en un congestionamiento vial. El operador no tiene entonces que oprimir permanentemente el pedal del freno, por lo que su fatiga se ve disminuida. Un sensor existiría en el caso de que el operador de la unidad abandone el vehículo. Esta tecnología constituye una especie de freno de estacionamiento automático.

Arreglo de una transmisión semiautomática para vehículos. Iwao y otros investigadores (2001) patentaron un arreglo de transmisión automática, en el cual la potencia del motor se transmite mediante un embrague hidráulico de multiplacas. El dispositivo cuenta con un controlador para el embrague automático, el cual no embraga a menos de que se trate de una posición predeterminada, con lo que evita el arranque del motor a una posición de velocidad desfavorable. Se asegura que al ser automático el embrague, se reducirá la fatiga del conductor. El autor propone otras variantes para que la transmisión sea completamente automática.

Sistema y método para un control automático inteligente de la velocidad del vehículo con base a los modos de control del motor. Esta tecnología se debe a Chakraborty y otros investigadores (2000); permite, como en el caso de la patente mencionada en la parte inicial de esta sección, controlar la velocidad de un vehículo tanto en deceleración como en aceleración, con base en una distancia de separación controlada respecto a otra unidad (llamada vehículo objeto). El equipo realiza cambios en la caja de velocidades de manera automática, con el respaldo de un control lógico externo al módulo de control electrónico del motor, y emplea tanto el modo de control de velocidad del motor o del vehículo, como el modo de control limitador del torque de acuerdo con las normas SAE. La principal ventaja es la versatilidad en el control de velocidad, lo que redundará en una menor fatiga del operador. Esta versatilidad se asocia a que el control de la velocidad no sólo se da para situaciones de tráfico desahogado, sino incluso para situaciones de tráfico intenso, en el que son frecuentes las situaciones de arranque y frenado. Se asegura que este artefacto puede representar incluso un ahorro de combustible. Los principios de operación para el sistema de seguimiento del vehículo delantero, por cuanto a distancia y rapidez de aproximación, pueden estar basados en cualquier tipo de haz electromagnético (rayo láser, microondas o video-imagen).

Mecanismo del pedal del acelerador de los vehículos. Kumamoto y otros especialistas (2001) llevaron a cabo un arreglo mecánico, el cual permite mantener al acelerador en cierta posición, disminuyendo la necesidad de que el conductor aplique esta presión sobre el pedal. El mecanismo se basa en un plato de fricción, montado en la biela del pedal del acelerador.

Sistemas de dirección con compensación a la posición central. Se debe a Howard (1996) un aparato para mantener al volante en su posición central, basado en que el volante presente cierta resistencia para moverse fuera de esta posición. La motivación para este artefacto se derivó de las correcciones que tiene que hacer el operador al circular por caminos que tienen pendiente transversal, que provocan que el volante se desvíe de su posición neutral. Al disminuir el número de correcciones, se reduce proporcionalmente la presencia de la fatiga. El dispositivo es una combinación electromecánica, consistente en una leva y distintos actuadores. La leva se coloca axialmente en el eje del volante y contiene una depresión en la posición de volante centrado. Un dispositivo seguidor de esta leva está articulado y se monta en un brazo oscilador del mecanismo, el cual ejerce a través de un elemento flexible, una presión en la posición deprimida de la leva. Esta posición deprimida en la leva puede ajustarse con relación a la posición del volante.

En este mismo sentido, este inventor ha patentado otras mejoras y variantes de su patente. (Howard, 1996; 1998; 1999; 2000; 2001). Se basan en compensaciones del desgaste de los elementos del mecanismo de la dirección, así como en otros principios para centrar el volante. Una versión comercial de esas tecnologías ha sido probada por la FMCSA (*Federal Motor Carrier Safety Administration*) (2002).

Por su parte, Michi (1996) patentó un método para alinear el volante, tomando en cuenta los parámetros de alineación de los vehículos (convergencia y camber).

Ensamble y método para el guiado de vehículos. White (2001) patentó un sistema de ayuda para el manejo mediante el cual una imagen, creada por un sistema de procesamiento de imágenes, señala un objetivo de conducción a perseguir, el cual es validado por el conductor. Este esquema reduce así el esfuerzo físico y mental de la conducción y hace menos probable la fatiga del conductor. Toma como referencia los señalamientos horizontales de los caminos.

Sistema de despliegue binocular, usando óptica binaria. King y otros investigadores (1998) patentaron un sistema de despliegue en pantalla, el cual busca reducir los movimientos musculares intraoculares, derivados de los distintos enfoques ópticos del operador, al observar objetos cercanos y lejanos (carretera y el tablero de instrumentos). King señala que el continuo reenfoque visual puede generar fatiga, distracción y esfuerzos en los ojos. De esta manera, la generación de una imagen virtual a 2.4 m (8 pies) del conductor resulta bastante confortable debido a que las distancias de reenfoque no son tan distintas. En la patente se incluye el ensamble de distintos componentes, cuyo propósito es crear una imagen virtual del tablero de instrumentos, usando para ello un elemento óptico difractivo binario.

La imagen virtual es variable en tamaño de acuerdo con el principio de funcionamiento del elemento óptico binario. Se señala que mediante elementos ópticos binarios, con múltiples órdenes de difracción, es posible desplegar ciertos elementos del tablero de instrumentos.

2.1. Tecnologías para detectar la fatiga del conductor

Distintos artefactos se han desarrollado para identificar situaciones derivadas de la fatiga del conductor. Comprenden diversos modelos comerciales y sistemas patentados. A continuación se describen estos equipos.

Sistema experimental de detección de fatiga, basado en imágenes. A nivel experimental, Veeraraghavan et al. (2001) desarrollaron un sistema para monitorear la fatiga del conductor, el cual emplea cámaras que “observan” el color de la piel y el estado de sus ojos en el sentido de estar abiertos o cerrados. Los investigadores probaron su equipo en un simulador diseñado ex profeso, habiendo logrado buenos resultados en cuanto a predecir el estado de fatiga del operador del vehículo automotor.

Aparato y método para detectar el nivel de alerta de un conductor de vehículos. Kawakami et al. (1998) propusieron un aparato de medición a distancia, de la frecuencia cardiaca de los conductores, el cual se basa en un sensor infrarrojo.

Este sensor obtiene una frecuencia cardiaca representativa, a partir de mediciones en ambas manos y en el corazón. Estas mediciones representan la innovación al hacerlas más significativas de la fatiga del individuo que maneja.

Guantes detectores de somnolencia. Leavitt (2000) inventó unos guantes, que usados por el conductor, permiten determinar el nivel de presión que éste ejerce sobre el volante. Al bajar la presión de contacto por debajo de ciertos niveles predeterminados, una alarma se activa. La patente considera la suma de presiones de ambas manos sobre el volante, a manera de evitar que la alarma se active al efectuar ciertas maniobras de operación normales. Asimismo, el diseño de los guantes es tal que no le resultan estorbosos al operador.

Detector de somnolencia para operadores de máquinas o vehículos. Horne y Reyner (1999) patentaron un complejo sistema de monitoreo del estado de somnolencia de un chofer u otro operador; comprende una memoria para almacenar un modelo operacional que incluye a su vez un modelo fisiológico de referencia, junto con un algoritmo de la operación del vehículo o máquina.

Comprende medios computacionales para ponderar al modelo operacional de vehículo, de acuerdo con la hora del día para determinar, a partir del modelo ponderado, la condición de somnolencia del conductor. Como una función de los resultados de este proceso, puede llegar a ser activada una alarma.

El sistema puede comprender distintos sensores, los cuales definan la condición de somnolencia del operador (posición del volante, por ejemplo), aunado a la condición fisiológica del que maneja. Otros sensores se asocian a la temperatura de la cabina y al nivel de luminosidad.

Dispositivo de alarma antisomnolencia. Tschoi (1999) diseñó un sistema de alarma para alertar al conductor acerca de situaciones de somnolencia o adormecimiento. Consiste en una funda flexible, instalada en el control de la dirección del vehículo, la cual es sensible a la presión de sujeción del volante. Como antecedente a esta invención se tiene otro dispositivo, patentado por Gwin et al. (1996) que también comprende una funda en el volante. Sin embargo, el primero de estos dispositivos representa menores complicaciones en cuanto a su instalación, ya sea como equipo original de fábrica o como equipo a ser instalado en vehículos usados.

Alarma para despertar a los operadores de vehículos. Vance (1998) es el creador de unos lentes que captan la imagen de los ojos del conductor. El dispositivo monitorea el parpadeo y movimiento ocular, produciendo pulsos los cuales restablecen un circuito de reloj. Una alarma se activa si el artefacto detecta un movimiento nulo del ojo durante un tiempo predeterminado. Se señala que el fenómeno a que se refiere esta patente es el de la “hipnosis carretera”, caracterizado por poco parpadeo y una posición fija de los ojos. El autor considera que esta tecnología ayudaría a los operadores a mantener un nivel mínimo de

atención en el camino, al menos mientras llega a un área de descanso sobre la carretera.

Alarma de somnolencia del conductor. Sutherland (2001) patentó una alarma para vehículos, cuyo objetivo es detectar el inicio de periodos de somnolencia. Se basa en transductores de capacitancia, los cuales miden la fuerza con que el conductor sujeta el volante. Los distintos valores se comparan con objeto de detectar el estado de somnolencia del conductor. La alarma se activa al bajar el nivel de fuerza que el operador aplica para sujetar el volante.

Sistema y método de control para alertar a un conductor somnoliento. El inventor Lemelson (2001) diseñó un complejo sistema de monitoreo del desempeño de los conductores, orientado a determinar situaciones de cansancio, caracterizadas por irregularidades y/o distracciones a lo largo de la carretera; aceleraciones o frenadas bruscas; y por las diferencias de velocidad de conducción con respecto a los otros usuarios del camino. El sistema se basa en una cámara de video, la cual proporciona información sobre el camino por recorrer. Esta visualización permite determinar qué tan fielmente sigue el operador el camino.

Aparato y método para evaluar el nivel de alerta de un conductor con base a la frecuencia de cambios direccionales. Hara et al. (1998) han patentado un aparato que denominan “de precisión”, cuyo objetivo es determinar el grado de alerta o somnolencia del conductor. Basa sus evaluaciones en datos de la velocidad del vehículo y de la posición del volante. El sistema efectúa un análisis de las frecuencias de los movimientos del volante y sus respectivas posiciones. De acuerdo con esto, el contenido espectral de las maniobras de dirección, representaría una indicación del número de maniobras anormales realizadas por quien maneja.

Aparato para determinar el grado de alerta del conductor. Con base en estudios científicos acerca de la correlación entre el tamaño de la pupila de los ojos y el nivel de cansancio de las personas, Griesinger y otros investigadores (2000) patentaron un dispositivo para medir el grado de somnolencia; consiste de un equipo de procesamiento de imágenes, el cual detecta el tamaño de la pupila y el parpadeo de al menos uno de los ojos del conductor.

De acuerdo con el estado abierto/cerrado del ojo y del tamaño de la pupila, el sistema ubica el nivel de cansancio del conductor de entre tres etapas. La supuesta mayor de las ventajas de este sistema, con respecto a otros semejantes de pupilografía, consiste en una mayor confiabilidad, derivada de datos de cansancio más exactos.

Monitor de la atención de la conducción (S.A.M.: *Steering Attention Monitor*). Es un dispositivo disponible comercialmente (DENMAR, 2002), el cual es un pequeño aparato computarizado que monitorea las acciones de corrección de dirección del volante, empleando para ello un sensor magnético. Cuando los movimientos

normales de corrección de la dirección no son efectuados, una alarma alerta al conductor acerca de esta situación; su volumen es superior al nivel de ruido asociado al radio o al camión mismo. La alarma se detiene una vez que se restablece el movimiento normal de corrección de la dirección. Una versión de este equipo puede incorporar un control automático de velocidad, el cual cesa de operar al activarse la alarma. El precio de este dispositivo se encuentra alrededor de los 300 dólares americanos.

Sistema de alerta del conductor (DAS: *Driver alert system*). Está disponible comercialmente (DAS, 2000), y su operación se basa en el monitoreo de la posición del vehículo en el carril. El sistema activa una alarma en caso de sospechas de movimientos inadvertidos del vehículo.

Conducción guiada en el carril (*lane guidance*). La empresa Freighliner Corp, ha introducido en algunos de sus modelos, un dispositivo que detecta la posición del camión en el carril donde transita (Sturgess, 1999). Se basa en una videocámara que opera una alarma audible en caso de que el vehículo invada el espacio fuera de su carril. En 1996 se reporta que esta compañía, en conjunto con la empresa Daimler-Benz Research, desarrollaron un sistema, a nivel experimental, para la visión mejorada y de control para fines de investigación.

Este vehículo usa una visión basada en sensores para determinar, entre otras cosas, la posición de la unidad en el carril. Como resultado de la investigación se señala que ha sido mejorada la tecnología para proveer al operador una alarma ante situaciones de cansancio extremo.

El sistema está diseñado para alertar a operadores distraídos o adormecidos cuando abandonan el camino de manera no intencional. Una videocámara en el vehículo, junto con un sistema de procesamiento de imágenes, “mira” el camino adelante y reconoce el trayecto que debería ser seguido, como se muestra en la fig 2.2 (Mayenburg, 1996). Comercialmente se ha desarrollado un sistema denominado SafeTRAC™ (FMCA, 2002).

VORAD. La empresa Eaton propuso un sistema denominado VORAD; consiste de un esquema de detección de fatiga del conductor, y de alarma para evitar la colisión. Este equipo se emplea a nivel experimental en algunas firmas, que lo han adquirido a un precio de 3 000 dólares por unidad (TT, 1999).

Dispositivo adaptado para “revivir” a un operador fatigado. Monte (1996) patentó un equipo para “despertar” a un conductor adormecido, mediante el rocío de una sustancia refrescante, dirigido directamente a la cara del operador. Contiene una alarma que periódicamente se activa y rocía al conductor. Mientras que en el documento de patente se describe el concepto del equipo patentado, se dejan abiertas las posibilidades en cuanto a los principios de operación que tales equipos pudieran tener.

Actígrafo de pulsera para monitorear el sueño. Es un equipo de pulsera el cual monitorea el ritmo cardíaco, temperatura y otras variables fisiológicas del conductor, orientado a hacer amigable el monitoreo del estado de fatiga de los operadores de vehículos (FMCSA, 2002).

2.3 Tecnologías para prevención de accidentes debidos a la fatiga

Distintos artefactos se han ideado para prevenir colisiones, producto de estados de somnolencia de los conductores. Sin embargo, la mayoría de ellos definen su alcance al alertar al operador sobre una probable colisión, en tanto que otros, en teoría, podrían accionar distintos dispositivos del vehículo que eviten la colisión. Este es el caso del diseño conceptual descrito a continuación.

Sistema y método de control y alerta de prevención de colisión mediante sistemas GPS. Lemelson (1999) y otros investigadores, patentaron un sistema para detectar manejos extraños o erráticos del vehículo, usando para ello sistemas de posicionamiento global (GPS). La forma de conducir se evalúa atendiendo los cambios direccionales azarosos; aceleraciones o deceleraciones irregulares; combinaciones de patrones de manejo extraños; velocidades relativas extrañas con respecto a otros vehículos, entre otros elementos de juicio de la conducción. Los resultados, a través de un sistema automático de monitoreo de la conducción, le informan al conductor, potencialmente mediante un sistema de advertencia. Se contempla, como resultado de esta mecánica de funcionamiento, la operación potencial automática de algunos sistemas de control del vehículo automotor.

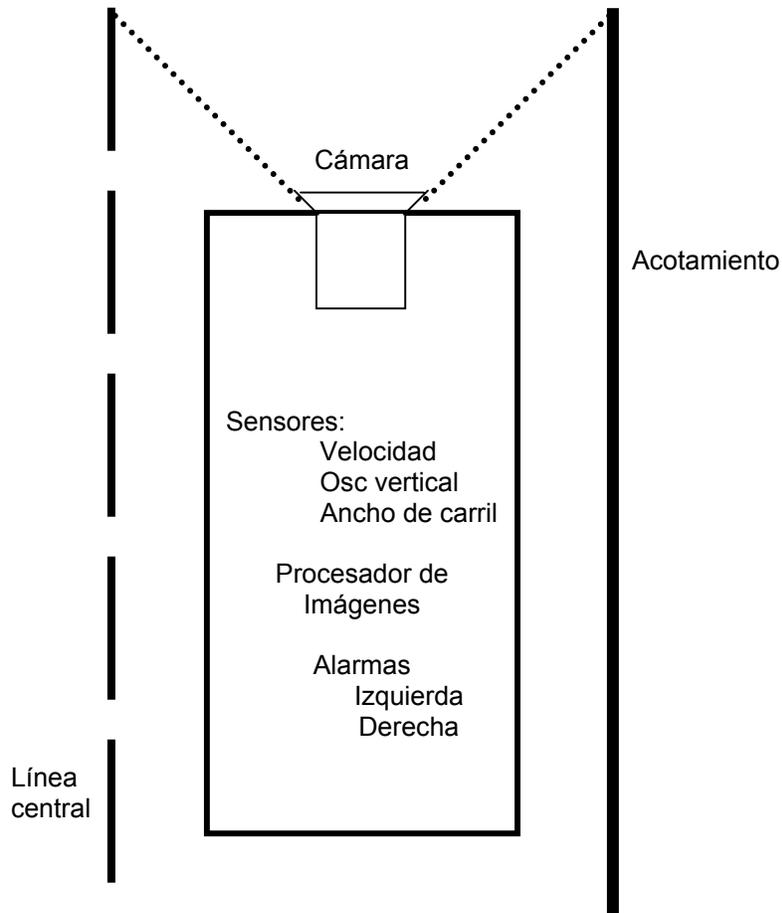


Fig 2.2.
Descripción esquemática de un sistema de alerta al conductor
(Mayenburg, 1996)

3 Estudio de caso

Se presenta un análisis estadístico de una muestra de accidentes de vehículos propiedad de una empresa nacional, con objeto de determinar una posible conexión entre la ocurrencia de estos eventos y un estado potencial de fatiga de los conductores. Esta muestra consiste de 40 incidentes en la zona centro del país considerando un lapso de cinco años. El tamaño de la flota es de 1 200 unidades.

3.1 Metodología

Un esquema específico de análisis se creó en esta investigación para estudiar la causal de accidentes viales de una empresa transportista, en la perspectiva de la posible fatiga del conductor. El esquema consistió en identificar en la muestra de accidentes, algunos elementos que pudieran vincularse a un estado de fatiga del que guía al vehículo automotor. Al respecto, se asume que de manera ideal los elementos que habrían de ser considerados para identificar esta posible liga fatiga-accidente, serían los siguientes:

- Causas reportadas
- Hora del día
- Día de la semana
- Nivel de tráfico
- Reacción del conductor después del accidente
- Tipo de camino
- Geometría de la carretera
- Número de vehículos involucrados
- Fecha
- Condiciones ambientales

Se considera que el análisis de estas características de los accidentes, podría dar elementos de juicio para determinar si tales eventos se debieron total o parcialmente a la fatiga. A continuación se proporcionan los conceptos detrás de cada una de las características listadas.

Causas reportadas del accidente. El aspecto fundamental de este parámetro reside en establecer si el accidente se debió, o no a un error o imprudencia del operador del camión. De los reportes revisados se han identificado, como causas asociadas al conductor, la falta de atención en el manejo así como actuar imprudentemente.

Hora a la que ocurrió el accidente. Es una característica de los accidentes, la cual pudiera estar asociada a la fatiga del conductor desde varios puntos de vista:

1. El acumulado de las horas de servicio durante el día

2. El efecto de la comida o “fatiga post-comida” (*post-meal fatigue*)(TT, 2001)
3. Manejo nocturno o diurno
4. Nivel de tráfico encontrado

Día de la semana en que ocurrió el accidente. En este caso, se reconoce el impacto sobre la condición físico-mental de los trabajadores, del día de la semana. Las situaciones de mayor diferencia al respecto estarían asociadas a la comparación del inicio con el fin de la semana laboral. Otro efecto del día de la semana estaría asociado con la carga de tráfico en las vías.

Nivel de tráfico. En este caso se asume una relación directa entre el nivel de tráfico y el cansancio que pudiera padecer un conductor. Un volumen de tráfico intenso demanda mayor atención del conductor, al mismo tiempo que un mayor esfuerzo físico. Transitar por un camino congestionado provocará un incremento en el número tanto de maniobras direccionales como de tracción y frenado, a cargo del operador.

Reacción del conductor después del accidente. El tipo de reacción que el operador tiene una vez sucedido el accidente, se considera indicativo del nivel de alerta del conductor. Un sentimiento de culpa y consecuente *sobrerreacción* después del percance, podrían significar alguna conexión con la fatiga.

Tipo de camino. Los distintos caminos y vialidades en México demandan distintos niveles de concentración por parte del conductor. El tipo de camino y vialidad se han clasificado en este trabajo como Rural Carretera, Rural Supercarretera, Ciudad Calle y Ciudad Avenida. Un camino Rural Carretera se identifica como aquel camino angosto, de doble circulación, carente de acotamiento.

Geometría de la carretera o vialidad. Este factor describe el tipo de trazo de la infraestructura caminera en el lugar del accidente. Podría esperarse que en los trazos curvos de los caminos es donde pudiera ocurrir la mayor cantidad de siniestros. De esta manera, el nivel de demanda de atención de parte del operador estaría asociado a la conducción en un tramo curvo. De hecho, con objeto de evitar el aburrimiento y la fatiga en carreteras hechas en terrenos planos, se les incorpora en su trazo curvas cuyo único fin es romper la monotonía.

Numero de vehículos involucrados. Algunos análisis de accidentes reportados en la literatura, han ligado la fatiga con accidentes en los que un sólo vehículo se ve involucrado (Smiley, 1996).

Fecha. Este elemento de análisis se relaciona con el tipo y volumen de tráfico en el camino o vialidad en el que ocurrió el accidente. Aunque en periodos vacacionales el tráfico de unidades pesadas es limitado, la circulación para el transporte de combustibles es susceptible de incrementarse, como resultado de la demanda incrementada de productos. Por otro lado, durante los periodos

vacacionales es notable la cantidad de conductores que no están acostumbrados a manejar en carreteras, por lo que representan peligros incrementales latentes. Un tráfico en exceso durante las vacaciones involucraría, entonces más fatiga de los conductores.

Condiciones ambientales. La atmósfera que rodea al conductor incide en el esfuerzo biológico que él debe realizar para llevar a cabo sus funciones vitales. A manera de ejemplo, condiciones de alta contaminación provocarán niveles incrementados de fatiga.

3.2 Datos

La tabla 3.1 muestra la lista de accidentes analizados, describiéndolos con base en los documentos de la empresa. Se hace notar que en sólo uno de éstos (el primero de la lista), se reportó que el conductor se encontraba fatigado. De una revisión general se identificaron aquellos en los que el factor humano estuvo asociado con la ocurrencia del evento. Tales accidentes (18 en total), se señalan con negrillas en dicha tabla 3.1.

El factor humano se ha distinguido en la causalidad del accidente, cuando éste se hubiera evitado si el conductor hubiese prestado mayor atención al camino, incluyendo a otros conductores y peatones. Un mayor cuidado al manejar evitaría percances de tipo alcance, mismos que ocurren por una reacción tardía del conductor, o por no mantener las distancias prudentes entre vehículos.

Atendiendo los criterios descritos, se presenta un análisis estadístico de los accidentes seleccionados.

Hora de ocurrencia

La figura 3.1 muestra la distribución horaria de los 18 accidentes en los que intervino directamente el factor humano.

Estos resultados indican un par de picos, uno entre las 8 y las 10; el otro entre las 12 y 14. Mientras que entre las 8 y las 10 podrían identificarse los efectos de un elevado nivel de tránsito; el segundo pico, entre las 12 y las 14, podría vincularse a un cansancio después del almuerzo.

Tabla 3.1
Lista de descripciones reportadas para los accidentes analizados

Consecutivo	Descripción
1	IMPACTO CON PIEDRA / VOLCADURA / FATIGA CONDUCTOR
2	ALCANCE POR TRAILER
3	IMPACTO Y VOLCADURA
4	CHOQUE EN COSTADO
5	AVERÍA DE MOTOR
6	ALCANCE A PARTICULAR
7	ALCANCE A SERV. PÚBLICO
8	IMPACTO DE TREN EN TONEL
9	INVASIÓN DE CARRIL A/T
10	IMPACTO LATERAL
11	GOLPE COSTADO DERECHO EQUIPO
12	GOLPE LADO DERECHO DEFENSA
13	IMPACTO EN L.I. DEFENSA TRASERA
14	CHOQUE EN COSTADO
15	GOLPE EN PARABRISAS
16	GOLPE DE A/T CON A/T
17	CORTOCIRCUITO
18	IMPACTO A VEHÍCULO COMPACTO
19	CHOQUE A PARTICULAR
20	IMPACTO DE PART. CON A/T
21	CHOQUE A PARTICULAR
22	GOLPE CON DEFENSA DE TRANSPORTE URBANO
23	GOLPE A COSTADO DERECHO DE PARTICULAR
24	ALCANCE VEHICULAR
25	ALCANCE EN COSTADO DE A/T
26	ALCANCE EN COSTADO DE A/T
27	ALCANCE EN COSTADO DE A/T
28	ALCANCE EN PARTE TRASERA DE A/T
29	BRUSCO VIRAJE A LA IZQ. SALE DE CARRETERA
30	PEATON ATROPELLADO
31	SUPERVISIÓN INADECUADA DE LLENADO
32	IMPACTO DE TREN EN TONEL
33	GOLPE A POSTE DE C.F.E
34	GOLPE A ESCALERA DE REVISIÓN
35	GOLPE A PASARELA
36	GOLPE CON DEFENSA TRANS. URBANO
37	ALCANCE A PARTICULAR
38	VOLCADURA DEL A/T
39	VOLCADURA DEL A/T
40	DAÑO EN SUSPENSIÓN LADO DERECHO

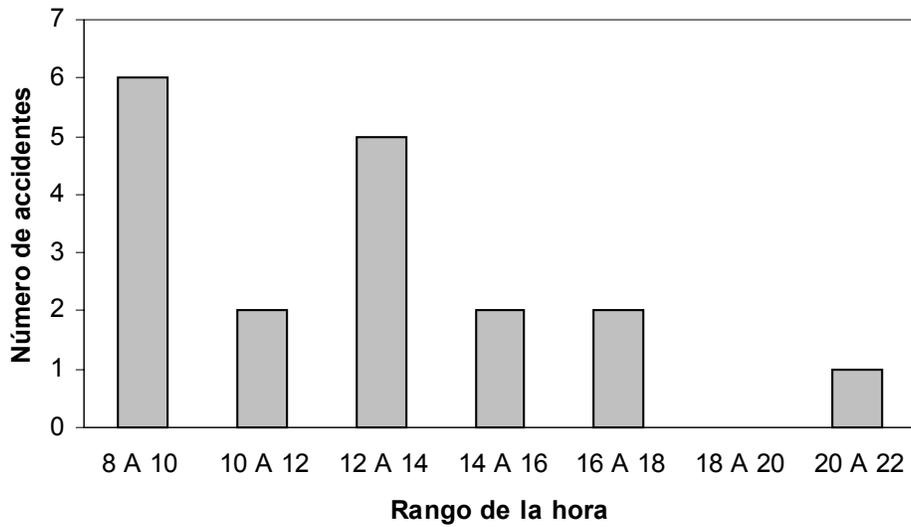


Fig 3.1.
Número de accidentes en los que intervino el factor humano, como una función de la hora del día

Día de la semana en que ocurrió el accidente

La fig 3.2 ilustra la distribución de los accidentes considerados a lo largo de una semana. Estos muestran un pico a media semana, observándose una mínima ocurrencia de eventos al inicio de la semana. Se entendería en este caso que la conducción durante esos días, estarían efectuándose al mínimo nivel de cansancio acumulado.

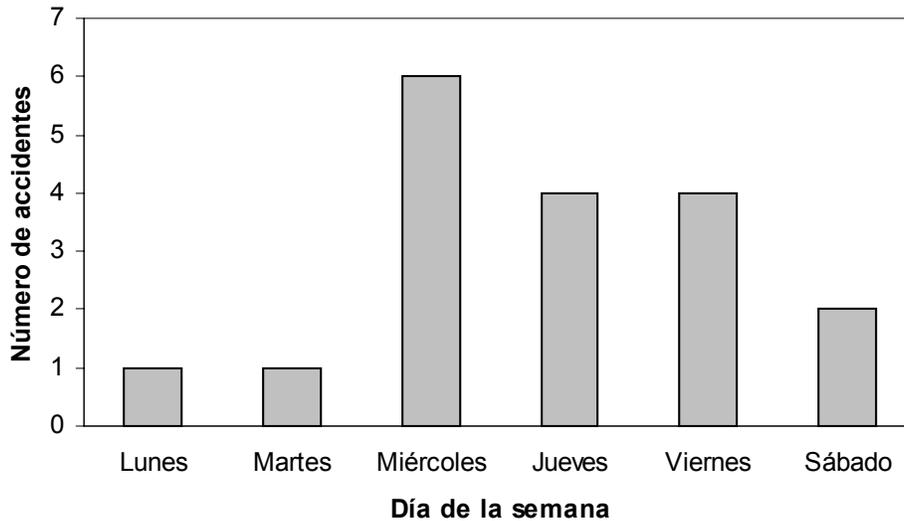


Fig 3.2.
Número de accidentes en los que intervino el factor humano, como una función del día de la semana

Nivel de tráfico durante la ocurrencia de los accidentes

La distribución de los accidentes en cuanto al nivel de tráfico se presenta en la fig 3.3. Se entiende que un mayor volumen de carga vehicular induce más peligrosidad, sin embargo, lo es también de una mayor demanda por cuanto a las habilidades psicomotoras de los conductores, las cuales pudieran ser afectadas por estados de cansancio. De esta manera, podría existir una conexión fatiga-accidente.

Tipo de camino / vialidad

Por su parte la fig 3.4 muestra la distribución de los accidentes seleccionados, como una función del tipo de infraestructura por la que circulaba el vehículo al sufrir el percance. Los accidentes en las avenidas urbanas, son las que presentan una considerable y alta incidencia. En estas vialidades y tipos de avenidas se combinarían tanto una velocidad mayor de operación, como un alto nivel de tránsito. En cuanto a los accidentes en las estaciones de carga de la propia empresa transportista, listados como “Estación”, constituirían situaciones interesantes por analizar, dado el control vial ejercido en el interior de las instalaciones, aunado a un conocimiento de parte del operador de sus áreas de trabajo. Un diagnóstico puede efectuarse entonces, por cuanto al diseño de las vialidades internas, y acerca de los señalamientos de las centrales de carga.

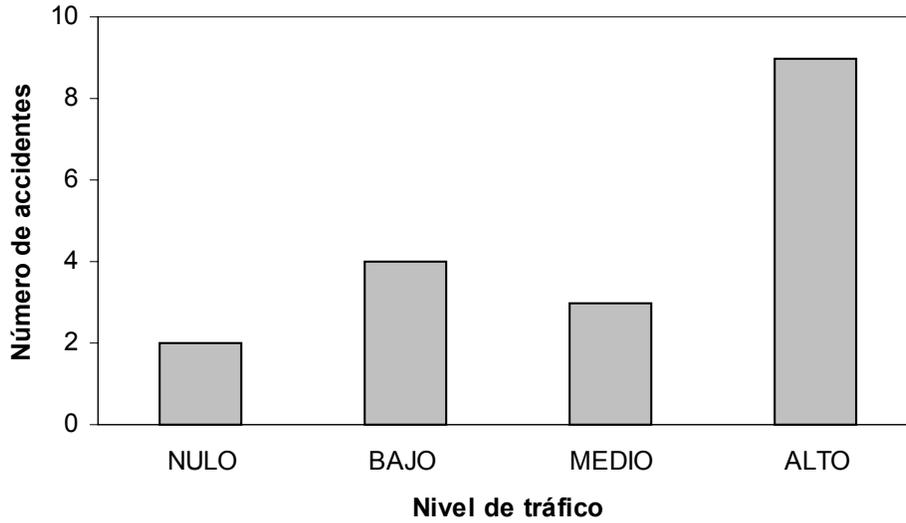


Fig 3.3.
Número de accidentes en los que intervino el factor humano, como una función del nivel de tráfico

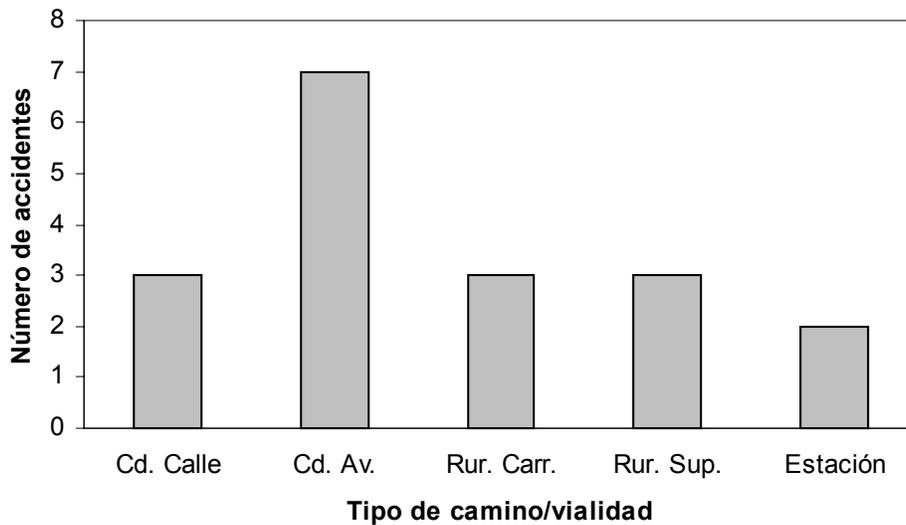


Fig 3.4.
Número de accidentes en los que intervino el factor humano, como una función del tipo de camino o vialidad.

Número de vehículos involucrados

La fig 3.5 muestra para los 18 accidentes analizados, la frecuencia del número de vehículos involucrados en los eventos. A reserva de un análisis a profundidad, parecería alto el porcentaje de accidentes en los que sólo intervino un camión (5/18), denotando que el percance fue producto de un estado de falta de atención del conductor. Estas situaciones son comunes en volcaduras de unidades tipo cisterna, en la que un exceso de velocidad, adormecimiento o fatiga provocan que el que guía el vehículo pierda el control de una unidad intrínsecamente menos segura.

Geometría del camino / vialidad

En lo que respecta a la distribución de los accidentes en un tramo curvo, o recto del camino o vialidad, en la fig 3.6 se observan más accidentes en tramos rectos, en sentido opuesto a lo que podría esperarse. Por tanto, sería necesario un análisis más detallado de las circunstancias, aunque podría adelantarse que es en éstos donde menos demanda de atención se tiene, lo que podría ser indicativo de una severa presencia de cansancio.

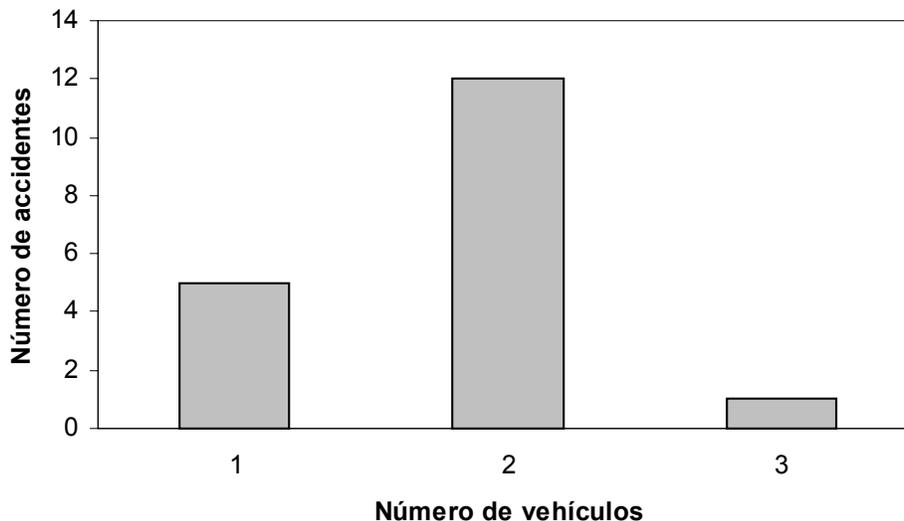


Fig 3.5.
Número de accidentes en los que intervino el factor humano, como una función del número de vehículos involucrados

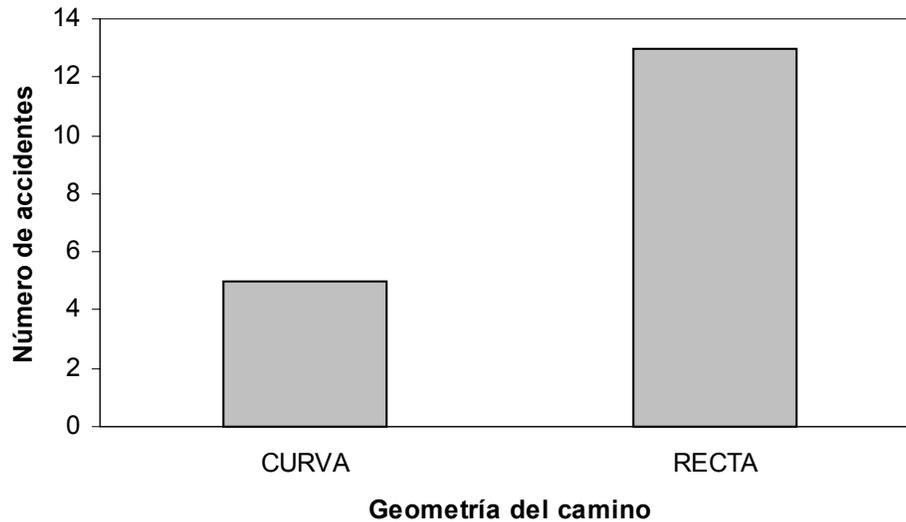


Fig 3.6.
Número de accidentes en los que intervino el factor humano, como una función de la geometría del camino / vialidad

3.3 Discusión y conclusiones

Se ha presentado un análisis, limitado pero significativo, del efecto potencial que la fatiga de los conductores de la empresa transportista pudiera tener sobre la causalidad de accidentes viales.

La muestra, que comprendió 40 eventos, se seleccionó de manera arbitraria, aunque se vio influenciada por la circunstancia de contar, para esta muestra con reportes completos de los mismos. De ellos, 18 se identificaron como ligados a factores humanos, caracterizados por errores o imprudencias de los conductores. De estos 18 accidentes, en uno se mencionó en el respectivo reporte oficial, que el cansancio había sido un factor directamente asociado con el siniestro.

Los resultados muestran que los accidentes en los que el factor humano interviene, se dan fundamentalmente bajo las siguientes circunstancias:

- Entre las 8 y 10, y entre las 12 y 14
- Entre miércoles y viernes

- En tramos rectos de los caminos o vialidades
- En avenidas urbanas
- En niveles de tráfico alto

Adicionalmente, son accidentes de un sólo vehículo en una proporción de 5 en 18 (25% aproximadamente).

Considerando la restricción numérica del análisis en cuanto al tamaño de la muestra, no es posible generalizar con respecto al efecto de la fatiga del conductor sobre la incidencia de accidentes de la empresa. Sin embargo, a manera de ejercicio de lo que pudiera hacerse al analizar la muestra completa de percances de dicha firma, a continuación se presentan algunos elementos que pudieran ser contemplados.

Los horarios de trabajo indican que después del almuerzo, aumenta la probabilidad de accidentes; eso estaría ligado al cansancio o fatiga postcomida.

Durante los días lunes y martes se observa menor incidencia de accidentes, lo cual podría ligarse a que el trabajador se encuentra recuperado después del descanso de fin de semana.

Los siniestros ocurren al combinarse un alto tráfico y mayor velocidad de circulación, en donde la demanda de atención del conductor debe ser máxima. Esto puede o no estar ligado a una situación de fatiga del conductor. Sin embargo, en un ambiente altamente demandante de atención como es un congestionamiento vial, podría ser susceptible el operador de sufrir algún percance.

El elemento de análisis que más fuertemente podría indicar la posibilidad de que la fatiga habría sido un factor para ciertos accidentes, es el relativo al número de vehículos involucrados. En este caso, el porcentaje de eventos en los que el camión se accidenta sin que otro vehículo intervenga (25 % aproximadamente), se considera alto.

Un importante porcentaje del total de accidentes ocurre en segmentos de camino rectos, lo cual en este caso amerita un análisis posterior, en el que se tome en cuenta el tipo de vialidad, aunado a la circunstancia específica del siniestro.

4 Conclusiones y recomendaciones

El fenómeno de la fatiga en la conducción es un suceso complejo que se manifiesta en un conjunto de síntomas psicológicos y orgánicos. Sin embargo, el efecto global del cansancio se caracteriza por un “alto” en las actividades psicomotoras inherentes al manejo. La falta de atención y el retraso en los tiempos de reacción son características de la fatiga.

Se ha presentado una reseña de tecnologías existentes y en desarrollo para prevenir y detectar la fatiga. Las diferentes tecnologías se han subclasificado de acuerdo con los enfoques tecnológicos, que incluyen en el caso de las tecnologías preventivas de la fatiga, la intención de disminuir el esfuerzo visual y las operaciones mecánicas a cargo del conductor, así como crear un ambiente amigable por cuanto a la atmósfera y ambiente vibratorio y de ruido.

En cuanto a aquellas tecnologías para detectar la fatiga, se ha presentado un cúmulo de artefactos que podrían ser efectivos para tal efecto, y alertar al conductor o a otras entidades acerca de la situación de riesgo.

Se distinguen diferentes niveles potenciales para aplicar distintas tecnologías, siendo posible asignarles ciertas preferencias en cuanto al tiempo y costo para su uso.

Con respecto a la prevención de conductores cansados, la tecnología que se vislumbra de un mínimo costo y mayor potencial de mejora, consiste en el control automático de las horas de servicio. De entre los diferentes esquemas para este control, las comunicaciones a través de radio o teléfono celular podrían ser el mejor medio. Una caja negra se considera altamente probable ante la modernización de los motores en uso.

Acerca de los esquemas para la detección de la fatiga, se concluye que la tecnología con mayor potencial es un sistema híbrido que combina el monitoreo de los signos vitales del conductor con su desempeño en cuanto a firmeza en la conducción del vehículo, lo cual se refiere a la consistencia de las correcciones que deberá realizar el conductor.

Se ha presentado un estudio de un caso en el que se pueden identificar varias características asociadas a la fatiga, considerada ésta como un factor contribuyente a los accidentes, como es la hora en la que ocurrieron los accidentes y por el número de vehículos involucrados en los percances. La hora de los accidentes apuntan hacia una fatiga postalmuerzo, mientras que el total de unidades involucradas señalan una falta de atención del conductor o un manejo arriesgado, que señala a su vez el deseo de querer terminar lo más rápido posible con la actividad.

Se requiere destacar que, efectivamente, la fatiga es un fenómeno que presenta aspectos subjetivos. Esto es, puede ser anímica y no física. Tales aspectos no deberían de subestimarse al evaluar de manera integral la fatiga y sus efectos en la seguridad del transporte. Un estudio psicométrico rutinario de los niveles de alerta y preocupación de los operadores, pudiera ser complementario a la incorporación de los distintos esquemas de mejoramiento tecnológico del vehículo, expuestos en este trabajo.

Referencias

- Archer, et al., "Independent suspensions for lowering height of vehicle frame", Patente EUA 5,820,150 (1998).
- Beard, et al. "Active vehicle suspension system", Patente EUA 5,603,387 (1997).
- Bostrom, et al., "Low profile seat suspension", Patente EUA 5,871,198 (1999).
- Chakraborty, et al., "System and method for intelligent cruise control using standard engine control modes", Patente EUA 6,076,622 (2000).
- Cochran, et al., "Shift control system for an auxiliary section of a compound vehicular transmission", Patente EUA 6,109,126 (2000).
- DAS "How the DAS 2000 Driver Alert System Works". <http://www.premiersystems.com/das/pagetwo.html> (2000).
- Delorenzis, et al. "Vibration control system", Patente EUA 6,305,673 (2001).
- DENMAR, "Driver Fatigue Detection," <http://www.driverfatigue.50megs.com/photo.html> (2000).
- DiNunzio, "Apparatus for reducing glare in a vehicle and associated method", Patente EUA 6,056,424 (2000).
- FMCSA, "Commercial Motor Vehicle/Driver Fatigue and Alertness Study", <http://www.fmcsa.dot.gov/safetyprogs/research/cmvfatiguestudy.htm#methodology> (1996).
- FMCSA "Research and Technology Program Driver Alertness and Fatigue R & T". <http://www.fmcsa.dot.gov/safetyprogs/research/driverfatigue.htm> (2002).
- FOSR, "Driver Fatigue: Concepts, measurement and crash countermeasures", Federal Office of Road Safety - Contract Report 72, Human Factors Group, Department of Psychology, Monash University). <http://www.general.monash.edu.au/muarc/rptsum/escr72.htm> (2000).
- Foster, G, Mabbott, N., McPhee, B., "Heavy vehicle seat vibration and driver fatigue", Report No: CR 203, Australian Transport Safety Board (2001).
- Fukunaga" Solid tire", Patente EUA 5,837,072 (1998).
- Garder, P y Alexander, J, "Continued research on continuous rumble strips: Final report", Tech Rept 94-4, Maine Department of Transportation (1995).
- Gierke, H.E. y Goldman, D.E. "Effects of shock and vibration on man", Capítulo 44 de Shock and Vibration Handbook, Cyril M. Harris (Editor), Mc-Graw Hill Co (1988).
- Griesinger, et al., "Apparatus for determining the alertness of a driver", Patente EUA 6,097,295 (2000).
- Gwin, et al., "Driver alarm", Patente EUA 5,585,785 (1996).
- Hara, et al., "Apparatus for judging driving attentiveness with respect to a ratio of steering frequency components and a method therefor", Patente EUA 5,717,606 (1998).
- Heitmann, A. et al., "Technologies for the monitoring and prevention of driver fatigue", *Driving Assessment 2001: The First International Driving Symposium*

- on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, Aspen, pp 81-86 (2001).
- Heo et al., "Brake pedal locking apparatus", Patente EUA 5,971,114 (1999).
- Horne, J.A. y Reyner, L.A. "Sleepiness detection for vehicle driver or machine operator" App. 341093 (1999).
- Howard, "Rotary centering compensator for vehicle steering systems", Patente EUA 6,003,887 (1999).
- Howard, "Steering column centering assembly", Patente EUA 5,816,594 (1998).
- Howard, "Steering shaft centering assembly", Patente EUA 6,272,947 (2001).
- Howard, "Power steering system with controlled centering", Patente EUA 6,065,561 (2000).
- Howard, "Power centering compensator for vehicle steering systems", Patente EUA 5,536,028 (1996).
- Howard, "Detent centering compensator for vehicle steering systems", Patente EUA 5,527,053 (1996).
- Iwao, et al., "Power transmission arrangement for vehicle", Patente EUA 6,227,998 (2001).
- Kaur, S.S., et al., "Automatic detection of driver fatigue-Phase III", Final Report, MN/RC-1999-30, Minnesota Department of Transportation (1999).
- Kawakami, et al., Apparatus for detecting awareness of a vehicle driver and method thereof", Patente EUA 5,769,085 (1998).
- King, et al., "Biocular display system using binary optics", Patente EUA 5,764,414 (1998).
- KOMPASS "VALEO VALEO reçoit le Grand Prix de l'Innovation pour son système anti-pollution / anti-odeurs dans l'habitacle", http://www.kompass-france.com/actualite/secteurs/automobile/html/communiques/idx_fr_fr214578.php (2001).
- Kumamoto, et al., "Accelerator pedal mechanism for vehicle", Patente EUA 6,263,758 (2001).
- Lance, "Adjustable lumbar support", Patente EUA 5,716,098 (1998).
- Lemelson, et al., GPS vehicle collision avoidance warning and control system and method, Patente EUA 5,983,161 (1999).
- Lemelson, et al. "Motor vehicle warning and control system and method", Patente EUA 6,226,389 (2001).
- Leavitt, "Sleep-detecting driving gloves", Patente EUA 6,016,103 (2000).
- Link "Roller bushing" Patente EUA 5,562,348 (1996).
- Lyons, Jr., "Electronic calculator for determining truck driver log book values", Patente EUA 5,886,331 (1999).
- McCormick, C. "The advantage of being single", Transport News (2001).
- Maloy "Split frame for heavy trucks" Patente EUA 6,250,663 (2001).
- Mayenburg M, Patterson, C y Rossow, G. "Truck safety technology for the 21st century", Truck Safety: Perceptions and reality, Memorias de congreso, Toronto, pp 83-114 (1996).
- Miichi, et al. "Wheel alignment control method for a motor vehicle and a control apparatus thereof" Patente EUA 5,557,525 (1996).
- Monte, Jr., "Vehicle and device adapted to revive a fatigued driver", Patente EUA 5,508,685 (1996).

- NHTSA "Evaluation of Techniques for Ocular Measurement as an Index of Fatigue and the Basis for Alertness Management", national Highway Transportation Safety Administration NHTSA Report No. DOT HS 808 762, April, 1998 (1998).
- NHTSA/NCSDR "A report to congress on the collaboration between the national highway traffic safety administration and the national center on slip disorders research", U.S. Department of Transportation (1999).
- NTSB, "Safety study. Factors that affect fatigue in heavy trucks accidents", Vol 2, NTSB/SS-95/01, NTSB/SS-95/02 (1995).
- SAE, SAE SP-1190, "Sensors, safety systems, and human factors" (1996).
- Schmitz, et al., "Independent coil spring suspension for driven wheels", Patente EUA 6,105,984 (2000).
- Smiley, A, "Fatigue, Truck Driving and Accident Risk", Truck Safety : Perceptions and reality, Institute for Risk research, Memorias, pp 137-150 (1996).
- Smyrlis, Lou "Truck technology has changed; the key to smart spec'ing hasn't", Trucknews <http://test.trucknews.com/truckspec/features/trucks.htm> (2001).
- Stronczek, "Synchronization system for motors" Patente EUA 6,147,466 (2000).
- Sturgess, S "ArvinMeritor Tandem Axle Addresses Vibration", Transport Topics 3/26/2001 (2001).
- Sturgess, S "Freightliner Makes Safety Statement", Transport Topics, 11/4/1999 (1999).
- Sutherland, "Driver sleep alarm", Patente EUA 6,218,947 (2001).
- Sweet, D. "Safety harmonization and competitiveness", Truck Safety: Perceptions and reality, Memorias de congreso, Toronto, pp 121-128 (1996).
- Taniguchi, et al., "Automatic speed control system for automotive vehicles", Patente EUA 5,731,977 (1998).
- Taoka, GT, "Asleep at the wheel: A review of research related to driver fatigue", *Transportation Quarterly*, Vol. 52, Issue 1 (1998).
- Thibault, "Paperless log system and method", Patente EUA 6,317,668 (2001).
- Townend, "Vehicle aerodynamic stability device", Patente EUA 5,927,795 (1999).
- Tschoi, "Anti-drowsing/anti-dozing alarm device", Patente EUA 5,969,616 (1999).
- TT "Truck Safety", Truck Topics del 18 de Julio del 2000 (2000).
- TT, "American Freightways Commits To ITS", Transport Topics 11/11/1999 (1999).
- TT, "Post-Meal fatigue seen as safety factor" Transport Topics Electronic Newsletter, 1/17/01 (2001).
- Van Sickle, "Pneumatic lumbar adjustment system", Patente EUA 5,967,608 (1999).
- Vance, "Awakening alarm for motor vehicle operators", Patente EUA 5,745,038 (1998).
- Venda, V.F., y Venda, Y. *Dynamics in ergonomics, psychology, and decisions: Introduction to ergodynamics*, ISBN 1-56750-106-0 (1995).
- Veeraraghavan, H y Papanikolopoulos, NP, "Detecting driver fatigue through the use of advanced face monitoring techniques", Report CTS 01-05, University of Minnesota, Center for Transportation Studies (2001).
- Vitale et al., "Patente EUA 5,639,106 (1997).
- Weiss, R. "Verified common carrier truck operation log", Patente EUA 6,351,695 (2002).

- Wooldridge, "Deployable antiglare screen device for drivers", Patente EUA 6,120,085 (2000).
- White, II, "Vehicle guidance assembly and method", Patente EUA 6,198,386 (2001).
- Wylie, D. et al., "Study of commercial vehicle driver rest periods and recovery of performance in an operational environment. Managing Fatigue in Transportation" (Laurence Hartley, Ed.). Oxford: Pergamon, 1998, 119-165 (1998).



‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 03-007-MX, vigente hasta el 24 de octubre de 2006 (www.imt.mx)**

§ **Laboratorios acreditados por EMA para los ensayos descritos en los documentos MM-054-010/03 y C-045-003/03, vigentes hasta el 9 de abril de 2007 (www.imt.mx)**

CIUDAD DE MÉXICO

Av Patriotismo 683
Col San Juan Mixcoac
03730, México, D F
tel (55) 5598-5610
fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro
tel (442) 216-9777
fax (442) 216-9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx