

Apéndice A

Comentarios

En algunas secciones de este texto se proporcionan más discusiones y elaboraciones. Aquellas secciones que contienen comentarios corresponden a los números de sección precedidos por la letra “A”. Por ejemplo, “A3.2.1” refiere a la Sección 3.2.1 del texto.

CAPÍTULO UNO

A1.2 FILOSOFÍA SUBYACENTE

Los choques de vehículos son experimentos complejos que no son fácilmente replicados debido a las dificultades en controlar las condiciones críticas de ensayos, como la velocidad, el ángulo y la condición del vehículo de ensayo y el comportamiento a veces aleatorio e inestable de las colisiones dinámicas y mecanismos de quiebre. Las pautas de ensayo están diseñadas para mejorar la precisión de estos experimentos manteniendo sus costos dentro de parámetros aceptables. Las agencias viales deben reconocer las limitaciones de estos ensayos y tener cuidado al interpretar los resultados.

Es impracticable tratar de duplicar en un limitado número de ensayos estandarizadas, las innumerables condiciones de disposición de los dispositivos de seguridad que existen en las rutas del país. Por consiguiente, el objetivo de las pautas es normalizar o idealizar estas condiciones de ensayo. Por lo tanto, son ensayadas las barreras longitudinales rectas, aunque las instalaciones curvas existen; se recomienda un terreno plano, aunque algunas instalaciones se sitúan en banquetas inclinadas y detrás de los cordones. Estos factores normalizados tienen un efecto significativo en el desempeño de muchos sistemas de seguridad y pueden ocultar serias deficiencias de seguridad que existen bajo condiciones más típicas, pero menos ideales. Sin embargo, a estos factores normalizados se los considera secundarios en importancia cuando el objeto de un programa de ensayo es comparar los resultados de uno o más sistemas. Además, las condiciones normalizadas son fácilmente duplicadas por las agencias de ensayo y ayudan a asegurar consistencia entre un laboratorio y otro. Aun así, cuando los ingenieros de carreteras sospechan que un sistema será particularmente sensible a algunas condiciones de sitio específicas como un suelo particular o la geometría del costado del camino, es importante que el sistema sea ensayado bajo estas condiciones “más críticas” en vez de o además de, las condiciones ideales recomendadas aquí.

Estas guías están diseñadas para usarse con dispositivos de seguridad que serán instaladas permanentemente o transitoriamente en una ruta. Los sistemas transitorios generalmente son usados en zonas de obra o construcción u otras ubicaciones temporarias y su uso es habitualmente de corta duración. Una importante característica adicional de una zona de trabajo es la exposición del personal de obra al tránsito errante. Por lo tanto, quizá se requiera una barrera en una zona de obra para (1) redirigir el tránsito errante lejos de una amenaza en el costado de la carretera o de otros vehículos y (2) para proteger a los trabajadores de los vehículos errantes. Dependiendo de las condiciones específicas de sitio, la severidad de impacto en las zonas de obra puede igualar o exceder las condiciones encontradas en los típicos sitios que no son de obra.

CAPÍTULO DOS

A2.1 GENERALIDADES

El concepto de múltiple nivel de servicio (MSL) para los sistemas de seguridad se introdujo por primera vez en las barandas de puentes en el Reporte NCHRP 239 (22). El reporte NCHRP 230 (92) también incorporó el concepto MSL hasta cierto grado. La Tabla 3 en el Reporte NCHRP 230 “Condiciones de Ensayos de Choque para la Matriz Mínima” brindó las condiciones de ensayo para un MSL de 2. La Tabla 4 del Reporte 230 “Típicas Condiciones Suplementarias de Ensayos de Choque” proveyó condiciones de ensayo para los MSLs de 1 y 3. La matriz suplementaria se aplicó principalmente a las barreras longitudinales. La Sección 20 del AASHTO “Especificaciones estándares para los Puentes de Rutas” (5) también incorporó el concepto de MSL incluyendo cuatro niveles de desempeño diferentes para las barandas de puentes. El concepto de MSL fue formalmente introducido para todos los sistemas de seguridad con la publicación del Reporte NCHRP 350 (129), el cual incluyó 6 niveles de servicio o “Niveles de Ensayo”. Este documento también incluye 6 niveles de ensayo, en gran parte modelados según las condiciones recomendadas por el Reporte NCHRP 350.

Desafortunadamente, no hay garantías ampliamente aceptadas o criterios que identifican las clasificaciones de autopistas, condiciones y volúmenes de tránsito, etc, por las cuales un sistema de seguridad que cumple un ensayo determinado o un nivel de desempeño debe ser utilizado. Si fuera posible, es preferible establecer primero condiciones o garantías por las cuales los sistemas que tienen capacidades dadas serían rentables y, en función de eso definir los niveles de ensayo apropiados. En cambio, es necesario establecer primero un conjunto de niveles de ensayo con la incertidumbre del sitio en el cual tendrán su aplicación los sistemas que cumplan con estos niveles. Cuando se desarrollan instrucciones para múltiples niveles de ensayo, es posible que algunos de los niveles de ensayo resulten tener poca aplicación y otros niveles sean necesarios.

Los vehículos errantes de todos los tamaños y clases dejan la carretera y golpean contra los dispositivos de seguridad con un amplio rango de velocidades, ángulos y alturas. Debe ser una meta de los funcionarios de transporte diseñar sistemas de seguridad que funcionen satisfactoriamente sobre un amplio rango de condiciones de impacto, como podrían darse en la práctica. Las combinaciones de velocidad de vehículo, masa y ángulo de aproximación que ocurren son ilimitadas. Sin embargo, las condiciones de impacto deben ser reducidas a un número muy limitado para mantener una serie de evaluaciones de ensayos dentro de los límites económicos y prácticos. La aproximación utilizada para formular las condiciones de ensayo recomendadas es para evaluar los dispositivos para casos en los cuales se cree que representan las condiciones más desfavorables. Por consiguiente, no hay garantía de que un sistema de seguridad funcionará de manera aceptable con otros tipos de vehículos en servicio existentes o aquellos tipos de vehículo que pueden entrar en servicio durante la vida útil del dispositivo. Esta “condición más desfavorable” ha sido definida como la combinación del quinto percentil de los automóviles medianos y vehículos pesados impactando contra un dispositivo de seguridad al percentil 85 de la mayor velocidad y el percentil 85 del mayor ángulo. Esta combinación de las condiciones casi más desfavorables de peso, velocidad y ángulo se cree que produce un evento de impacto extremadamente raro. Aun así, estos impactos ocurren y han sido designados como representativos de las condiciones de impacto más severas que pueden ser darse en la práctica. Esta definición de las peores condiciones de impacto reales originalmente fue implementada para los automóviles grandes con el primer conjunto de pautas de evaluación presentadas en la Circular de la Junta de Investigación de Carreteras 482 (153). El antecedente establecido con el primer conjunto de pautas para el ensayo de choque a escala real ha sido extendido por la Circular Investigación de Transporte 191 (154) y los Reportes NCHRP 230 (92) y 350 (129).

La única revisión significativa a la filosofía de ensayo de automóviles incorporada a las pautas actuales es la aplicación del ángulo de impacto del percentil 85 a los automóviles pequeños. Todos los datos de accidentes disponibles muestran que los ángulos de impacto para los automóviles pequeños son, al menos, tan grandes como aquellos asociados con los automóviles grandes y SUVs. Además, las investigaciones de accidentes aparentan indicar que los grandes ángulos de impacto incrementan la severidad de los accidentes para todos los tamaños de automóviles. Por lo tanto, el ángulo de impacto recomendado para los ensayos que involucran redirigir automóviles pequeños es igual al del ensayo de camión liviano.

A2.1.1 CONDICIONES DE IMPACTO

Se han llevado a cabo una cantidad de estudios que involucran investigaciones de accidentes detallados desde los 70' (79, 85, 96, 97, 103). Los datos de "Puntos de Impacto Críticos para Barreras Longitudinales" (125) fueron la base primaria para la selección de condiciones de impacto incorporados en el Reporte NCHRP 350 (129). Los datos de estos estudios fueron recolectados a fines de los años 70' bajo los límites de velocidad de la ley nacional. Cuando esta ley fue eliminada durante los años 90', los límites de velocidad en las autopistas rurales fueron aumentados en todo el país. Basado en los límites de velocidad incrementados, se anticipó ampliamente que las velocidades de choque incrementarían significativamente y que los ángulos de impacto podrían ser reducidos. Sin embargo, los datos más recientes, recolectados después del incremento de los límites de velocidad en autopistas rurales no mostraron velocidades de impacto altas ni ángulos de impacto bajos para los choques por salida de vía. De hecho, los mejores datos disponibles aparentan indicar que el percentil 85 de velocidad y ángulo de impacto esencialmente permaneció igual que en los estudios previos (97). En retrospectiva, este descubrimiento debió haber sido anticipado porque el percentil 85 del ángulo y velocidad de impacto no eran significativamente menores bajo la ley nacional de límite de velocidad (85) que previo a la implementación de la ley (79, 103). Basados en estos descubrimientos de que hubo poco cambio en las velocidades y ángulos de impacto, no fue revisado en las recomendaciones de Reporte NCHRP 350 el hecho de limitar las velocidades y ángulos de impacto de un automóvil mediana.

Desafortunadamente, son limitados los datos de choque disponibles con los cuales cuantificar la severidad de los choques de camiones pesados. Las condiciones de impacto para camiones pesados recomendadas en el Reporte NCHRP 350 se basaron principalmente de la Sección 20 del manual AASHTO de Especificaciones Estándares para los Puentes de Rutas (5). Sin embargo, la severidad incrementada de la limitación del TL-3 (Nivel de Ensayo 3) ahora excede la severidad de la limitación del TL-4 (Nivel de Ensayo 4) del Reporte NCHRP 350 en aproximadamente un 18 por ciento cuando se mide en términos de Severidad de Impacto, IS, la cual se define de la siguiente manera:

$$IS = \frac{1}{2} M (V \sin \theta)^2$$

Donde:

IS	=	Severidad de Impacto, kip-ft (kJ)
M	=	Masa del vehículo impactante, kip-sec ² /ft (kg)
V	=	Velocidad del vehículo impactante, pies/seg (m/seg)
θ	=	Ángulo de Impacto (grados)

Es lógico esperar que las barreras del TL-4 (Nivel de Ensayo 4) sean capaces de tolerar niveles de severidad de impacto mayores que las barreras del TL-3 (Nivel de Ensayo 3). Aunque hay datos insuficientes disponibles para identificar la distribución completa de ángulos y velocidades de impacto para impactos de camiones pesados sobre barreras ubicadas en el costado de la carretera, los datos que están disponibles claramente indican que las severidades de impacto pueden ser tan altas o aún más altas que aquellas propuestas para el TL-4 (Nivel de Ensayo 4) y el TL-5 (Nivel de Ensayo 5) en el Reporte NCHRP 350 (129) (84). Las condiciones de impacto del TL-4 incorporadas en el Reporte NCHRP 350 tienen su origen en la Sección 20 del manual AASHTO de Especificaciones Estándares para los Puentes de Rutas (5) y fueron seleccionadas como un reemplazo para varios ensayos de autobuses incluidos en el Reporte NCHRP 230 (92). Estos ensayos de autobús fueron reemplazados debido a la naturaleza de algunos videos de ensayos que muestran ocupantes sustitutos de autobús que fueron eyectados por las ventanillas del vehículo, a pesar de que el vehículo fue contenido y redirigido de forma exitosa. Los cuatro ensayos de autobuses tenían valores de IS entre un valor mínimo de 112 kip-ft (152 kJ) y un valor máximo de 323 kip-ft (438 kJ). Desafortunadamente, cuando los ensayos de autobuses fueron reemplazados por camiones de unidad simple, el valor IS del TL-4 (Nivel de Ensayo 4) fue reducido a 98 kip-ft (132 kJ), muy por debajo del ensayo de autobús más bajo incluido en el Reporte NCHRP 230. Estas condiciones de impacto reducidas originalmente fueron seleccionadas porque el camión de unidad simple fue considerado como menos estable y, por lo tanto, habría una exigencia adicional en el desempeño de la barrera para prevenir vuelcos. Sin embargo, después de que las condiciones de impacto del TL-4 (Nivel de Ensayo 4) fueron seleccionadas y aprobadas, el criterio de evaluación para todos los ensayos de camiones pesados fue revisado para poder permitir al vehículo que impacta volcar sobre el lado del tránsito del riel. A la luz del incremento de la severidad del ensayo TL-3 (Nivel de Ensayo 3) y el historial de las condiciones de impacto del TL-4 (Nivel de Ensayo 4), este ensayo fue revisado para incrementar significativamente la severidad del impacto para que haya un incremento en la capacidad de desempeño de las barreras del TL-3 (Nivel de Ensayo 3) a las del TL-4 (Nivel de Ensayo 4) aumentando la masa y velocidad de impacto para el TL-4 (Nivel de Ensayo 4) a 22046 lb (10000 kg) y 55,9 mph (90 km/h) respectivamente.

Téngase en cuenta que las barreras de cable tradicionalmente han sido ensayadas sin uniones de cables en la zona del impacto. Sin embargo, los empalmes de cable deben ser usados en largos recorridos de barreras de cables y deben repararse los cables dañados durante un choque. Por lo tanto, cualquier empalme que se espera ser utilizado en el campo debe ser incorporado a la zona de impacto crítica durante el ensayo de choques.

A2.1.3 ORIENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Los ángulos de impacto indicados en el Capítulo 2 deben ser medidos con relación al eje de la ruta. La mayoría de los sistemas están normalmente instalados en forma paralela a la línea central de la ruta y, por lo tanto, los ángulos de impacto para estos sistemas pueden ser medidos con relación con la línea central del sistema. Sin embargo, los sistemas como las terminales de barrera de protección abocinados y los sistemas de amortiguación de choque por inertes son normalmente instalados en un ángulo con respecto a la línea central de la ruta. Para estos sistemas, los ángulos de impacto efectivos serán diferentes que los ángulos nominales reportados en la Sección 2.2. Las terminales de barrera de protección abocinados están instaladas para que el ángulo de impacto efectivo sea incrementado con relación a los valores mostrados en la Tabla 2-3 mientras que los amortiguadores de choque inertes normalmente están orientados hacia la carretera de manera que reduzca el ángulo de impacto efectivo.

Téngase en consideración que los guardarrieles y barreras de medianas ocasionalmente pueden estar abocinados con respecto al recorrido de tal manera que el ángulo de impacto efectivo sea mayor. Este documento no

recomienda que cada sistema de barrera sea ensayado bajo las condiciones de máximo. Sin embargo, las decisiones respecto a las configuraciones de barreras abocinadas deben tomarse después de una cuidadosa evaluación de las consecuencias de incrementar o reducir el índice de abocinamiento. Se cree que incrementar dicho índice en una barrera incrementa la severidad de los choques contra ella. Sin embargo, incrementar el índice de abocinamiento también reduce el número de colisiones de barrera y los costos totales de la barrera reduciendo la longitud de la barrera. Los índices de abocinamiento de barreras deben ser elegidos basándose en un análisis de costo-efectividad que provea el costo social más bajo, incluyendo los costos de accidentes y los costos de la construcción de la barrera. Los índices de abocinamiento óptimos que son elegidos de esta manera pueden producir de barreras o terminales que no pueden cumplir con los requerimientos del ensayo de choque a escala real descritos aquí en las condiciones bajo las cuales son instalados. Las pautas contenidas en el Capítulo 2 están diseñadas para asegurar un nivel mínimo de desempeño ante el impacto para las barreras instaladas de manera paralela al camino, no para todas las posibles configuraciones de barrera abocinadas.

A2.2.1 BARRERAS LONGITUDINALES

Las barreras longitudinales, incluyendo los Niveles de Ensayo del 4 al 6 deben ser diseñadas para acomodar automóviles. Para asegurar un desempeño adecuado para estos vehículos, es necesario llevar a cabo ensayos con ambos tipos de vehículos, el 1100C y 2270P para todos los sistemas de barreras longitudinales, incluyendo los Niveles de Ensayo 4 al 6.

Una transición entre las dos barreras longitudinales con diferente rigidez lateral, como una barrera de concreto de puente y un guardarraíl de vigas W, puede representar un problema de diseño difícil. El método más común para crear una transición es construir una sección de barrera intermedia con una rigidez entre el guardarraíl y la barrera del puente. Los ensayos han demostrado que los vehículos que impactan aguas arriba de la sección de rigidez intermedia pueden embolsarse y quedar detrás de la barrera más rígida, volcar o fracturar la baranda (110). En esta clase de situaciones, es importante llevar a cabo un ensayo de la transición en ambas ubicaciones críticas, es decir, la transición entre la sección de rigidez intermedia y la barrera del puente, al igual que la transición entre el sistema más flexible y el sistema de rigidez intermedia. Téngase en consideración que el ensayo de automóvil pequeño no ha indicado un problema significativo para cualquiera de estas ubicaciones de punto de impacto. Por lo tanto, cuando las barreras de aproximación tienen geometrías muy similares a los sistemas previamente probados, puede que no sea necesario realizar pruebas de automóviles pequeños en cualquiera de las ubicaciones de impacto.

Aunque es preferible que el vehículo de ensayo permanezca en posición vertical después de cada ensayo descrito aquí, hay excepciones para todos los vehículos de ensayo pesados. Se permite un cuarto de vuelco en los ensayos de vehículos pesados porque la meta primaria en estos ensayos es demostrar que la barrera longitudinal evaluada puede contener y redirigir el vehículo. Además, los análisis de datos de accidentes de camiones no muestran una relación tan fuerte entre el vuelco de los vehículos y las heridas o fatalidades de ocupantes del vehículo. Téngase en cuenta que, aunque los vuelcos están permitidos para todos los ensayos de vehículos pesados, se debe satisfacer el criterio de evaluación D de la Tabla 5-1B, es decir, el vuelco no debe dar lugar a deformaciones del habitáculo que puedan causar heridas graves.

A2.2.2 TERMINALES Y AMORTIGUADORES DE IMPACTO

Las barreras longitudinales tradicionalmente fueron diseñadas para acomodar impactos producidos en ángulos mayores a 25 grados y se cree que los ángulos de impacto aumentan con la distancia de desplazamiento lateral desde el recorrido. Las terminales se colocan en las partes finales de las barreras longitudinales donde las

distancias laterales usualmente son mayores que en la sección principal de la barrera. Los amortiguadores de impacto usualmente son usados como terminales para las barreras rígidas y son colocados a grandes distancias del camino. Además, previo a la publicación del Reporte NCHRP 350 (129), las terminales de barreras, impactadas aguas abajo del comienzo de la longitud necesaria, se requerían para contener a vehículos que impactaban en ángulos mayores a 25 grados. El Reporte NCHRP 350 (129) redujo este ángulo de impacto a 20 grados y creó una inconsistencia donde una barrera longitudinal era diseñada para contener impactos mayores a 25 grados en cualquier lado, excepto en el comienzo de la longitud necesaria. Para eliminar esta inconsistencia, los ángulos de impacto para los Ensayos 36 y 37 fueron incrementados a 25 grados.

En reconocimiento de que las terminales y los amortiguadores redirectivos tenían la misma función y para las barreras rígidas las terminales se han vuelto intercambiables, estos dispositivos fueron sujetos al mismo conjunto de ensayos de choque en escala real. Los amortiguadores no redirectivos no están diseñados para funcionar como una barrera longitudinal cuando se la choca aguas abajo desde la nariz del sistema y, por lo tanto, están sujetos a un reducido conjunto de ensayos. Téngase en cuenta que el Reporte NCHRP 350 también identificó las condiciones de ensayo para las terminales y amortiguadores de impacto “traspasables” y “no traspasables”. Aunque la definición de “traspasable” y “no traspasable” ha sido conservada de la publicación anterior, los dos tipos de sistemas ahora están sujetos al mismo conjunto de ensayos de choque en escala real, desde el Ensayo 30 hasta el 38. Para que una terminal o amortiguador de impacto sea clasificado como no traspasable, debe detener al vehículo impactante durante las Pruebas 32 y 33. Téngase en consideración que el ángulo de impacto se da en un rango de 5 a 15 grados para estos ensayos. Cada dispositivo debe ser probado en el ángulo de impacto que maximice el riesgo de fallo del ensayo. Los dispositivos diseñados para ser clasificados en la categoría de traspasables deben ser probados cerca del límite inferior de su rango y los dispositivos diseñados para funcionar como no traspasables deben ser probados cerca del extremo superior. Téngase en consideración que si un dispositivo no traspasable falla en detener el vehículo impactante durante las Pruebas 32 y 33, debe ser re-ensayado en un ángulo de impacto menor para calificarlo como un sistema traspasable. De forma similar, los sistemas que detienen los vehículos impactantes cuando son ensayados cerca de la parte final de este rango deben ser re-ensayados en un ángulo de impacto mayor antes de calificarlo como un diseño no traspasable.

Los Ensayos 38 y 45 fueron agregados para asegurar que los sistemas de atenuación colocados tengan un desempeño adecuado para todos los tamaños de automóviles. Téngase en consideración que el propósito de estos ensayos es identificar las aceleraciones de atropello del ocupante para los automóviles. Dado que este comportamiento se relaciona principalmente con la masa del vehículo impactante y el peso crítico del vehículo puede variar de un sistema a otro, el intervalo de masa aceptable se incrementó a ± 220 lb (100 kg). Además, son aceptables la extracción de componentes del vehículo hasta las 441 lb (200 kg) para reducir la masa y el agregado de hasta 441 lb (200 kg) de lastre para cumplir con las pautas de masa. Esta prueba puede no ser exigida si el análisis mostrado en el Apéndice G indica que el Ensayo 38 o 45 cumplirá con los criterios de riesgo del ocupante.

Téngase en consideración que las matrices de ensayos recomendadas no pueden y no deben esperarse que sean un conjunto de procedimientos estandarizados que incluya todas las posibilidades. Cuando sea apropiado, las agencias de ensayos y/o agencias viales deben considerar otras condiciones de ensayo crítica equiparables al rango de condiciones de impacto de campo esperados.

A2.2.3 AMORTIGUADORES DE IMPACTO MONTADOS SOBRE CAMIONES (TMA)

Hay tres áreas básicas de preocupación en un impacto con un TMA: (1) riesgo para los ocupantes del vehículo impactante, (2) riesgos para los trabajadores si el camión de soporte es empujado o avanza hacia la zona de obra y (3) riesgos para los ocupantes del camión de soporte sobre el cual el amortiguador está montado. Siendo los otros factores iguales, los riesgos para los ocupantes del vehículo impactante generalmente aumentan a medida que aumenta la masa o el grado de frenado del camión de soporte. Sin embargo, los riesgos para el personal de obra protegido por el camión de soporte generalmente aumentan a medida que la masa o el grado de frenado baja debido al aumento del avance de este camión. Es importante evaluar ambos, el riesgo para los ocupantes del vehículo impactante cuando un TMA se monta sobre un camión pesado y la distancia de avance cuando se monta sobre un camión liviano. Por lo tanto, los Ensayos 50, 51 y 52 deben ser realizados con el peso de camión de soporte máximo permitido, mientras que la Prueba 53 debe ser realizada con el peso de camión de soporte mínimo permitido. Las distancias de avance de los camiones de soporte deben ser documentadas cuidadosamente para las cuatro pruebas. Se observa que las distancias de avance pueden estimarse con precisión a partir del principio de la "conservación del momento" de la mecánica basándose en una estimación de la resistencia de fricción del camión de soporte al movimiento hacia adelante (70). Los resultados de los ensayos de choque en escala real pueden ser usados para evaluar los valores de fricción efectivos. Usando estas técnicas, las agencias de ensayos deben evaluar las distancias de avance sobre el rango total de peso de los camiones de soporte, desde el mínimo hasta el máximo.

El riesgo para los ocupantes del camión de soporte aumenta a medida que se reduce el peso del camión. Sin embargo, mientras el camión de soporte pese significativamente más que el vehículo impactante, las aceleraciones de camiones serán sensiblemente menores que aquellas medidas en el vehículo de prueba. Por ejemplo, si el camión de soporte pesa 20 por ciento más que un vehículo de prueba 2270P y la masa del amortiguador es 992 lb (450 kg), el camión de soporte experimentaría aproximadamente una aceleración 30 por ciento menor que el vehículo de prueba impactante 2270P. Además, durante un impacto, el camión de soporte es acelerado hacia el frente, empujando a sus ocupantes hacia su asiento. El movimiento del ocupante hacia atrás generalmente es menos peligroso que el movimiento hacia el frente, principalmente porque el cuerpo está bien soportado por el asiento y el sistema de apoya cabezas. Por lo tanto, siempre y cuando el camión de soporte pese más que el vehículo impactante y se utilicen sistemas de cinturones y apoya cabezas apropiados, los riesgos para los conductores de camiones de soporte deben ser significativamente menores que los riesgos para los ocupantes del vehículo impactante.

La Prueba 54 fue implementada para evaluar si los TMAs con absorción de energía colocados tendrían un desempeño satisfactorio durante los impactos con vehículos medianos. Claramente todos los TMAs deben ser diseñados para acomodar el rango completo de automóviles, incluyendo los medianos. Sin embargo, existe la preocupación de que la instalación de algunos TMAs puede estar finamente calculado para acomodar sólo el automóvil pequeño y la camioneta pickup pesada puede que no tenga un comportamiento satisfactorio para un automóvil mediano, particularmente por la aceleración de atropello. Por otro lado, hay preocupación sobre la posibilidad de que muchos TMAs puedan fracasar en esta prueba. Esto requeriría un re diseño de estos TMAs, lo cual llevaría a un aumento de costos, problemas operativos y de durabilidad. Por lo tanto, este ensayo es considerado opcional. Los fabricantes y usuarios son alentados para desarrollar e implementar diseños de TMAs que puedan ser operativamente eficientes y exhibir un desempeño ante el impacto apropiado durante el ensayo de automóviles medianos.

Los Ensayos 50 y 51 son recomendados para usarse durante la evaluación del desempeño ante el impacto de tráileres portables de control de tránsito en zona de obra. Estas mismas pruebas también se recomiendan para evaluar los riesgos de seguridad asociados con cualquier dispositivo de grandes zonas de obra que sean consideradas como un problema potencial de seguridad.

A2.2.4 ESTRUCTURAS DE SOPORTE, DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO EN ZONA DE OBRAS, POSTES FRANGIBLES Y CANALIZADORES LONGITUDINALES

Los criterios de evaluación de desempeño ante el impacto para los dispositivos de quiebre o frangibles están basados en el “estado de la práctica” más que en el umbral en el cual el riesgo de lesión grave o fatalidad alcanza un nivel crítico o comienza a aumentar rápidamente. Los dispositivos de quiebre han sido capaces de proveer cambios de velocidad muy bajos, incluso para los impactos con soportes de luminarias y señales. De ahí que los límites de cambio de velocidad para los dispositivos de quiebre fueron colocados en niveles muy bajos.

La energía o fuerza requerida para fracturar un dispositivo de quiebre o estructura de soporte, en general, puede ser sensible a su orientación con respecto a la dirección del impacto o el ángulo de impacto. Por ejemplo, las pruebas han indicado que una base de quiebre se rompe inmediatamente cuando es golpeada en una esquina más que en un lado plano. Dado que los vehículos errantes pueden acercarse a una estructura de soporte, dispositivo de control de tránsito en zona de obra o un poste de quiebre desde varios ángulos, se recomienda que el dispositivo sea ensayado asumiendo la dirección más severa de aproximación del vehículo coherente con las condiciones de tránsito esperadas o en el ángulo de impacto crítico (CIA) discutido en la Sección 2.2.4. Por ejemplo, la base a ensayar debe ser orientada para que el vehículo golpee un lado plano. Además, dado que la energía requerida para fracturar un dispositivo puede ser incrementada debido al pandeo del soporte en el punto de contacto con el vehículo, la agarradera en el poste luminoso debe ser posicionada durante una prueba para que la probabilidad de colapso local del poste sea maximizada.

Las estructuras de soporte que absorben energía y con mecanismos traspasables fueron desarrolladas como potenciales reemplazos para sistemas de quiebre. Estos dispositivos están diseñados para desacelerar el vehículo a una detención segura y controlada, similar a un amortiguador de impacto, en lugar de permitir que el vehículo atravesara y continúe con una reducción de velocidad mínima. Las estructuras de soporte rígidas y sin quiebre usualmente son utilizadas en áreas urbanas donde la intrusión del vehículo más allá del poste podría poner en peligro a los peatones u otros espectadores inocentes. Mientras que esta práctica puede ofrecer protección para los espectadores inocentes, también aumenta los riesgos para los automovilistas errantes. El poste de mecanismo traspasable puede aplicarse en estos sectores o en aquellos donde existen árboles u otras amenazas más allá de la línea del poste, que podría poner en peligro a los ocupantes del vehículo invasor. Sin embargo, ya que ese diseño no pasaría con éxito los criterios de riesgo del ocupante recomendados para las estructuras de soporte, debe ser evaluado acorde a los criterios recomendados para amortiguadores de impacto. Aunque la recomendación del uso de dichos sistemas está más allá del alcance de este documento, las aplicaciones apropiadas para este tipo de dispositivo deben ser identificadas en base a un análisis de costo/beneficio de las diferentes alternativas.

Los dispositivos de control de tránsito en zona de obra están sujetos a un ensayo similar al de las estructuras de soporte. Sin embargo, debido a su masa liviana, la mayoría de estos sistemas cumplirán con los criterios de cambio de velocidad. En estos casos, las principales preocupaciones están relacionadas con el daño del parabrisas y la posibilidad de que los componentes estructurales se introduzcan en el habitáculo. De hecho, la instrumentación de los vehículos de ensayo no es requerida para ensayar dispositivos de zona de obra, siempre

y cuando el dispositivo esté libre y su peso total sea menor a las 20 lb (100 kg). Téngase en cuenta que muchas agencias de ensayo impactan dos dispositivos de control de tránsito en zona de obra en un solo intento. Los dispositivos son colocados para que impacten en lados opuestos de los paneles laterales delanteros del vehículo. El espaciado del dispositivo se selecciona para que el primer dispositivo quede completamente suelto del vehículo de prueba antes de que golpee el segundo dispositivo. En algunos casos, el primer dispositivo no se suelta totalmente o produce el daño suficiente que es imposible determinar la extensión del daño del parabrisas para el segundo dispositivo. En esta clase de situaciones, el segundo dispositivo debe ser ensayado nuevamente.

Los postes de servicios frangibles son ensayados y evaluados de una manera diferente de otras estructuras de quiebre. Se permite una velocidad de impacto del ocupante mayor en un ensayo de poste de servicio porque la masa sustancial de un típico poste de servicio produce un cambio de velocidad mayor que el permitido para un dispositivo de quiebre convencional. Ya que se permite una velocidad de impacto del ocupante mayor, la velocidad de impacto para el ensayo de “baja velocidad” fue fijada en 31 mph (50 km/h) o 47 pies/seg (13,9 m/seg). Téngase en consideración que para una velocidad de impacto de 19 mph (30 km/h) o 27 pies/seg (8,3 m/seg) utilizadas para otras estructuras de soporte, el vehículo podría llegar a una detención abrupta y aun así pasar el criterio de máxima velocidad de impacto del ocupante de 39 pies/seg (12 m/seg). A pesar de las pruebas recomendadas y el criterio de evaluación, debe ser una meta del diseñador desarrollar sistemas de postes de quiebre que minimicen el cambio de velocidad del vehículo y, cuando sea posible, el límite de las velocidades de impacto del ocupante debe igualar aquellos para otras estructuras de soporte. El reemplazo de postes de madera sólidos con estructuras más livianas, si es factible, podría reducir o eliminar problemas asociados con la masa relativamente importante de los postes de madera. Los postes de servicios pueden esperarse que cumplan los mismos estándares de seguridad que las otras estructuras de soporte.

Otros objetos que están colocados cerca de las carreteras de alta velocidad, como los hidrantes, transformadores eléctricos, etc., deben ser sujetos a la misma matriz de ensayo de choque que las estructuras de quiebre. La mayoría de estos elementos pueden ser construidos para cumplir el criterio asociado a las estructuras de quiebre. Si un dispositivo es incapaz de cumplir estos criterios simplemente debido a su masa, se debe utilizar el criterio de evaluación presentado para los postes de quiebre.

Los canalizadores longitudinales no funcionan como una barrera longitudinal y las agencias de ensayo deben aclarar este hecho en todos los reportes de ensayos. Dado que estos sistemas están diseñados para permitir un vehículo impactante penetrar por la línea de los elementos, en ángulo de impacto crítico apropiado para cada uno de estos sistemas es difícil de determinar. Se anticipa que la mayoría de los canalizadores longitudinales funcionarán como una barrera cuando chocan en ángulos de aproximación extremadamente bajos. Además, estos sistemas se espera que permitan un traspaso rápido durante los impactos de ángulos altos. El ángulo de impacto más propenso a causar el vuelco de un vehículo generalmente se cree que está ubicado en el medio, donde está maximizado el riesgo de un vehículo contacte y posiblemente sobrepase el extremo de uno de los segmentos del sistema. Otro potencial modo de fallo para canalizadores longitudinales involucra un vehículo impactante rotando mientras penetra en el sistema y el costado del vehículo haciendo contacto con el extremo de uno de los segmentos. En esta clase de situación, la deformación del habitáculo puede volverse excesiva. Los diseñadores y las agencias de ensayo deben tratar de identificar el comportamiento esperado del sistema y el ángulo de impacto crítico apropiado para maximizar el riesgo de un comportamiento indeseable a través de simulación por computadora o evaluación de pruebas o sistemas similares.

A2.3 PUNTOS DE IMPACTO PARA LOS DISPOSITIVOS REDIRECTIVOS

Las barreras longitudinales generalmente fallan debido a las ineficacias estructurales que permiten que el embolsamiento o el enganche en puntos rígidos en los sistemas de barreras o la ruptura de uno de los “puntos débiles” en el sistema de barrera, como un empalme. Por lo tanto, la mayoría de los sistemas de barreras tienen una o más ubicaciones críticas donde se espera que ocurra un fallo, ya sea mediante un enganche de una rueda o la ruptura de un elemento de la barrera. La posibilidad de que ocurra un fallo está afectada en cierta medida por el punto de impacto seleccionado.

El Reporte NCHRP 350 (129) creó procedimientos para identificar estos puntos de impacto críticos en cualquier tipo de barrera longitudinal. Estos procedimientos han sido actualizados para los vehículos de ensayos recomendados aquí y están presentados en el Capítulo 2. Aun así, como se recomienda previamente bajo el Reporte NCHRP 350, se debe utilizar el programa Barrier VII u otro programa de simulación, cuando sea posible, para identificar los CIPs para los ensayos de barreras. Las técnicas para el uso de los programas de simulación para identificar los puntos de impacto críticos están resumidas en las Referencias 82 y 120.

A2.3.2.1 Ensayos con los Vehículos 1100 C y 2270P

La menor masa y la poca rigidez al aplastamiento de los automóviles aumenta la posibilidad y severidad del enganche de una rueda o el embolsamiento sobre un elemento rígido de las barreras longitudinales. Por lo tanto, los ensayos de barreras longitudinales con los vehículos 1100C y 2270P deben ser planificados para examinar el potencial de enganche de una rueda y embolsamiento sobre elementos rígidos, al igual que el fallo estructural de los elementos de la barrera. El enganche y el embolsamiento son dos modos de fallo de barrera que exhiben la mayor sensibilidad para el punto de impacto seleccionado. Cuando un punto de impacto está muy cercano a un poste u otro elemento rígido del sistema de barrera, el vehículo no penetrará en la barrera antes de llegar al punto de enganche. Contrariamente, cuando el punto de impacto seleccionado está muy lejos del punto de enganche, el vehículo será redirigido y comenzará a salir de la barrera antes que éste se produzca.

La carga en las uniones es otro parámetro de prueba importante que es afectado por la ubicación del impacto. Afortunadamente, las ubicaciones de impacto que maximizan el enganche de la rueda o el embolsamiento también maximizarán las cargas en los conectores cerca del mismo punto de la barrera. Por lo tanto, cuando un empalme de viga W u otras conexiones críticas se hallen cerca (dentro de los 5 pies (1,5 m)) de un punto de enganche como un poste de barrera, la ubicación del impacto puede ser elegida para maximizar ambos, la posibilidad de enganche y las fuerzas en los empalmes. Dado que las fuerzas de la barrera son generalmente mayores aguas arriba del punto de enganche, las conexiones críticas deben colocarse sobre este punto o justo aguas arriba del mismo, siempre que las ubicaciones de las uniones sean consistentes con las ubicaciones en servicio. Las cargas de tracción del riel se maximizan a lo largo de toda la longitud del primer tramo aguas arriba del punto de enganche. Por lo tanto, la posibilidad de fallo de tracción del empalme generalmente puede ser maximizado eligiendo el CIP para enganche si la conexión se coloca en el punto de enganche o en cualquier sector dentro del primer tramo aguas arribas de dicho punto.

Sin embargo, cuando una conexión de barrera no está ubicada dentro de aproximadamente 5 pies (1,5 m) de un punto de enganche, el momento flexor y de corte en la conexión no se maximizarán mediante una ubicación de impacto elegido para maximizar el enganche. Cuando las conexiones de una barrera no están dentro de los 5 pies (1,5 m) de distancia de un punto de enganche y cuando el enganche o embolsamiento, así como también la carga de la conexión en flexión y/o corte son consideraciones importantes, el diseñador puede considerar llevar

a cabo dos ensayos con diferentes ubicaciones de impacto. Se recomienda un programa de simulación como Barrier VII o similar para investigar la necesidad de dos ensayos y para seleccionar los CIPs.

Se ha descubierto que el CIP concerniente al enganche es sensible principalmente a la fuerza dinámica de fluencia de los postes de barreras, el momento plástico de los elementos de las vigas y el espaciado de los postes (137). Las fuerzas dinámicas de los postes y el espaciado fueron combinados en un solo parámetro, F_p , dividiendo las fuerzas dinámicas de los postes por el espaciado entre ellos. Las curvas de selección de CIP se desarrollaron entonces en función del momento plástico de los elementos de la baranda, M_p , y la fuerza de elasticidad del poste por unidad de longitud de barrera, F_p . La referencia 81 contiene una descripción más detallada del desarrollo de las curvas de selección de CIP como se muestra en las Figuras 2-6 a 2-17.

El momento plástico de una barrera de riel es simplemente el producto del módulo plástico de la sección de la viga por la tensión de fluencia del material. Los procedimientos para calcular el módulo plástico de una sección se presentan en varios libros sobre diseño plástico de estructuras de acero (134). El módulo plástico de la sección puede ser estimado con un razonable grado de precisión multiplicando el módulo elástico de la sección por un factor de forma. Los factores de forma para las vigas con formas comunes varían de un mínimo de 1.1 a un máximo de 2. A medida que aumenta la fracción de la sección transversal de una viga ubicada cerca de la superficie neutral, también aumenta el factor de forma de la sección transversal. Las barandas de bordes anchos tienen poco material cerca de la superficie neutral y, como resultado, generalmente tienen factores de forma menores que 1.18 con un promedio cerca de 1.14. Los factores de forma para las vigas de perfil cuadrado varían de un mínimo de 1.13 para un tubo de pared muy fino hasta un máximo de 1.5 para una vara rectangular sólida. En la Tabla A-1 se muestran los factores de forma y los momentos plásticos para algunos elementos de barandas más comunes.

TABLA A-1. Propiedades de los Elementos de Barreras de Barandas Comunes

Barrera	Módulo Elástico de la Sección pulg ³ (cm ³)	Factor de Forma	Módulo Plástico de la Sección pulg ³ (cm ³)	Resistencia a la Fluencia ksi (MPa)	Momento Plástico kip*ft (kN*m)
Viga W – Calibre-12	1.37 (22.45)	1.41	1.93 (35.63)	50 (345)	8.0 (10.9)
Viga W – Calibre-10	1.76 (28.84)	1.41	2.48 (40.64)	50 (345)	10.3 (14.0)
Viga Triple - Calibre - 12	2.19 (35.89)	1.4	3.07 (50.31)	50 (345)	12.8 (17.3)
Viga Triple - Calibre - 10	2.80 (45.88)	1.4	3.92 (64.24)	50 (345)	16.3 (22.1)
Viga cajón TS 6 x 6 de ³ / ₁₆	7.93 (129.9)	1.17	9.24 (151.4)	46 (317)	35.4 (48.0)
Viga cajón TS 6 x 6 de ³ / ₈	13.90 (227.8)	1.21	16.80 (275.3)	46 (317)	64.4 (87.3)
Viga cajón TS 8 x 6 de ¹ / ₄	15.00 (245.8)	1.2	18.00 (295.0)	46 (317)	69.0 (93.5)

a Los tamaños de Barandas están en unidades inglesas.

Las barreras con múltiples elementos de barandas complican la selección de un momento plástico apropiado para todo el sistema. Cuando este tipo de barrera se deforma durante un impacto, la deflexión de la parte superior de la baranda es mucho mayor que la de la parte inferior. Un simple análisis de energía indica que el total de energía absorbida por cada baranda es aproximadamente proporcional a la altura de montaje del elemento. La Ecuación 2-4 fue desarrollada para estimar un momento plástico equivalente para múltiples sistemas de barandas. Un estudio de sensibilidad limitado utilizando el Modelo Barrier VII reveló que los CIP determinados mediante el uso de la Ecuación 2-4 estima con precisión el CIP para la mayoría de sistemas de barreras de barandas múltiples. Este estudio indicó que el procedimiento era, algo menos preciso para barreras que tenían elementos de relativamente rígidos muy por encima del vehículo impactante. Para esta situación, los postes de barrera cederán por encima del vehículo impactante y los elementos superiores no se deformarán tanto como los elementos inferiores. Aunque los procedimientos de selección de CIP estiman razonablemente las ubicaciones de puntos de impacto críticos para la mayoría de estas barreras, cuando sea posible debe utilizarse un programa de simulación para verificar los resultados.

Previo a determinar F_p , es necesario determinar la fuerza dinámica de fluencia. La fuerza de fluencia del poste será representada por el menor de los dos valores – aquel necesario para la fluencia del poste mismo, asumiendo que está ajustado rígidamente a su base o aquel necesario para que ceda el suelo en cual el poste está embutido.

Cuando las barreras de postes están ancladas rígidamente, las fuerzas de fluencia son controladas por las propiedades del material del poste. Normalmente se aplica un factor de aumento dinámico al módulo plástico de la sección de postes metálicos para estimar la fuerza dinámica de fluencia para un poste tal como se da en la ecuación A3-1.

(Ecuación. A3-1)

$$F_y = D \left(\frac{\sigma_y Z_p}{H_r} \right)$$

Donde:

F_y	=	Fuerza dinámica de fluencia para un anclaje rígido;
D	=	Factor de aumento dinámico;
σ_y	=	Tensión de fluencia del poste;
Z_p	=	Módulo plástico de la sección del poste, y
H_r	=	Altura del elemento más alto sobre la base del poste.

La precisión de la ecuación A3-1 puede ser demostrada comparando un valor medido de F_y , para un poste de acero W 6 x 9 (W152 por 13,4), rígidamente anclado con el valor calculado. Un factor de aumento dinámico de 1,5 se usa en general para los postes de acero y una viga W6 x 9 (W152 por 13,4) tiene un módulo plástico de la sección de 6,3 pulgadas³ (103 cm³) y una tensión de fluencia de 36 ksi (248 MPa). Para una altura de montado

de 1,7 pies (0,53 m), la Ecuación A3-1 da un F_y de 16,2 kip-force (71,9 kN) comparado con un valor medido de 16,8 kip-force (74,7 kN) del *Desarrollo de un Modelo de Costo-Efectividad para Selección de Guardarriel* (29).

Los elementos de madera exhiben un fallo de mecanismo frágil y, por lo tanto, el módulo plástico de la sección en la Ecuación A3-1 es reemplazado por el módulo de rotura. La referencia 29 reportó que los ensayos de péndulo de 6- por 8- pulgadas (15,2- por 20,3- cm) de los postes de Abeto de Douglas (EE. UU) tienen una fuerza de fallo promedio de 16,2 kip-force (72,1 kN) cuando están montados en un soporte rígido. El abeto de Southern Douglas tiene un módulo de ruptura promedio de 6800 psi (46,8 MPa) (84). Usando un factor de aumento dinámico de 1,0, la Ecuación A3-1 predice fuerzas de fallo de 20,7 kip-force (91,9 kN) y 16,6 kip-force (74 kN) para los postes cortados y terminados con un tamaño nominal de 6 por 8 pulgadas. (15,2 por 20,3 cm). Aunque no está claro si los postes utilizados en los ensayos de péndulos eran en bruto o terminados, los resultados indican que el factor de aumento dinámico de la ecuación A3-1 no debe ser más de 1,0 para los elementos de madera. La Tabla A-2 muestra el módulo de rotura para algunos postes de madera comunes.

TABLA A-2. Propiedades de los Postes de Madera

Madera	Módulos de Rotura, psi (MPa)	Fuerza de Corte, psi (MPa)
Abeto de Douglas	6800 (46.8)	960 (6.6)
Pino Amarillo Southern	7300 (50.4)	860 (5.9)
Secoya	5900 (40.8)	900 (6.2)

Las fuerzas dinámicas de fluencia para los postes embutidos en el suelo generalmente son más difíciles de estimar. Las fuerzas de fluencia del suelo usualmente son medidas mediante ensayos de carros péndulos o automóviles instrumentados a velocidades cercanas a 20 mph (32 km/h). Un número de postes de guardarrieles han sido ensayados para varias condiciones de empotramiento en el suelo (24, 29, 42, 44, 149, 150). En la Tabla A-3 se muestran las fuerzas dinámicas de fluencia para los postes guardarrieles comunes incrustados en suelos resistentes. Los programas de ensayos referenciados arriba han mostrado que las de fluencia del poste pueden aproximarse como una función del cuadrado de la profundidad del empotramiento. Por lo tanto, las fuerzas de fluencia de la Tabla A-3 pueden ser extrapoladas para otras profundidades de empotramiento multiplicando las fuerzas mostradas por el cuadrado de la relación de las dos profundidades de empotramiento como se da en la ecuación A3-2.

$$F'_s = F_s \times \left(\frac{D'_e}{D_e} \right)^2 \quad (\text{Ecuación. A3-2})$$

Donde:

F'_s = Fuerza dinámica de fluencia del suelo a alternativas profundidades de empotramiento D'_e ;

F_s = Fuerza dinámica de fluencia del suelo mostrada en la Tabla A-3;

D'_e = Profundidad de empotramiento alternativa; y

D_e = Profundidad de empotramiento del poste mostrada en la Tabla A-3.

Algunas pruebas de péndulos se llevaron a cabo en suelos débiles y fueron reportados en *Desarrollo de un Modelo Costo-Efectividad para Selección de Guardarriel* (29). Los procedimientos analíticos para estimar las fuerzas de fluencia de otros tamaños de postes y condiciones de suelo se discuten en *Un Estudio del Comportamiento en la Interacción Suelo-Estructura de los Postes de Guardarrieles en las Rutas* (A Study of the Soil-Structure Interaction Behavior of Highway Guardrail Posts) (42).

TABLA A-3. Fuerzas Dinámicas de Fluencia de los Postes Embutidos en Suelo Resistente

Tipo de Poste ^a	Profundidad de Empotramiento, pies (m)	Límite Máximo del Suelo, kips (kN)	Límite Máximo del Poste, kips (kN)
Poste de Madera 6 pulg x 8 pulg (15.2 cm x 20.3 cm)	3.0 (0.91)	11.3 (50.2)	16.2 (72.1)
Poste de Madera 8 pulg x 8 pulg (20.3 cm x 20.3 cm)	3.0 (0.91)	12.4 (55.2)	22.7 (101) ^b
Poste de Madera 10 pulg x 10 pulg (25.4 cm x 25.4)	3.0 (0.91)	16.3 (72.5)	46.1 (205) ^b
Poste metálico W 6 x 9	3.7 (1.12)	12.4 (55.2)	14.6 (65.0)
Poste metálico W 6 x 15	3.7 (1.12)	18.3 (81.4)	23.7 (105)

a Los tamaños de postes están en unidades inglesas.

b Estimado para al Abeto Douglas.

A2.3.2.2 Ensayos con Vehículos 10000S, 36000V y 36000T

La carga en las conexiones es el principal parámetro para seleccionar puntos de impacto para los ensayos de choque de vehículos pesados. Las pautas para la selección de puntos de impacto presentados en la Sección 2.3.2.2 están basadas en la distancia del contacto inicial a la ubicación de la fuerza lateral máxima. Cuando sea posible, el punto de impacto debe ser seleccionado para generar la máxima carga lateral en todos los puntos de conexión importantes, incluyendo los empalmes de vigas, las conexiones de viga a poste y las conexiones de poste a base o poste a plataforma. Si la preocupación principal es que el camión vuelque sobre la parte superior de la barrera, el punto de impacto debe ser seleccionado para maximizar la carga lateral en la mitad del tramo

donde se esperaría que la barrera superior se deforme hacia abajo e incremente la posibilidad de vuelco. Téngase en cuenta que, dado que los camiones pesados distribuyen la carga del impacto sobre una extensión mayor, un solo ensayo habitualmente puede ser planificado para aplicar cargas cercanas al máximo en todas las conexiones críticas e investigar adecuadamente el potencial de fallo, así como también el vuelco. La Tabla 2-7 presenta descubrimientos de ensayos en escala real en barreras rígidas y paredes instrumentadas (13, 27, 68).

CAPÍTULO TRES

A3.2 SITIO DE ENSAYOS

La altitud del vehículo en el punto de impacto puede tener un efecto significativo en el desempeño del sistema probado. Por ejemplo, un vehículo que impacta de punta puede terminar pasando por debajo de la barrera mientras que un vehículo que rebota hacia arriba puede promover un sobrepaso de la misma. Por lo tanto, es crítico tener una superficie relativamente llana en el área de aproximación a efectos de que la altura del vehículo sea estabilizada durante el impacto. El área de salida para el vehículo después del impacto debe ser lo suficientemente larga y amplia para que la trayectoria del vehículo sea evaluada adecuadamente.

A3.3 SUELO

El desempeño ante el impacto de muchas barreras longitudinales y estructuras de soporte de quiebre o traspasables depende de la fuerza y la resistencia de las fundaciones. Por lo tanto, las fundaciones en el suelo son una parte integral de dichos sistemas. Por ejemplo, el desplazamiento y/o la rotación de la posición de un dispositivo de quiebre durante la colisión puede afectar de manera inversa el mecanismo de fractura. La resistencia insuficiente del suelo puede llevar a excesivos movimientos de los postes de barandas y deformaciones laterales de las vigas durante la colisión del vehículo y resultar en una menor capacidad de sistema para contener y redirigir vehículos errantes. La insuficiente fuerza de suelo también puede ser un factor crítico y limitante para la función de anclaje de una terminal de barrera longitudinal. Por otra parte, un suelo inusualmente firme puede aumentar la rigidez lateral de una barrera longitudinal y someter a los ocupantes de un vehículo colisionando a riesgos excesivos.

Las condiciones de suelo a lo largo de una ruta son variables y pueden ser afectadas por diversos factores. Los tipos de suelo pueden variar desde suelos arenosos blandos a materiales de roca dura; además, el tipo de suelo puede variar considerablemente dentro de un mismo sitio, así como también de región en región. Además del tipo de suelo, la fuerza del suelo también puede ser una función de la temporada, ya que puede estar afectada de manera significativa por el contenido de la humedad y el congelamiento. Otros factores significativos pueden incluir la compresión, densidad y consolidación del suelo. La agencia de ensayos debe estar consciente de la importancia de la fuerza del suelo y seleccionar el tipo de suelo más apropiado de acuerdo con la posible instalación de los dispositivos.

Los suelos recomendados son materiales bien clasificados que deben estar disponibles para la mayoría de las agencias de ensayos. El suelo estándar de la Sección 3.3.1 es un material elegido por la AASHTO que se compacta para formar un cimiento relativamente fuerte. El suelo débil de la Sección 3.3.2 es un típico agregado fino de la AASHTO. Estos suelos son esencialmente los mismos que los suelos “fuertes” y “débiles” del Reporte NCHRP 350 (129).

Las siguientes guías generales de selección de suelo se ofrecen a la agencia vial y la agencia de prueba:

A.3.3.1 SUELO ESTANDAR

A menos que el artículo de prueba esté limitado a zonas de suelos débiles, el suelo estándar debe ser utilizado con cualquier dispositivo cuyo comportamiento al impacto es sensible a la interacción de fundaciones-suelo y estructura-suelo. Un gran porcentaje de los ensayos previos fueron llevados a cabo en suelos similares y se necesita un empate histórico. Aunque probablemente sea más fuerte que la condición promedio encontrada a los costados de la carretera, aún es representativo de una cantidad considerable de instalaciones existentes.

A.3.3.2 RESISTENCIA DEL SUELO

Las especificaciones de suelo en el Reporte 350 NCHRP (129) están previstas para proveer consistencia entre la resistencia del suelo y los resultados de los ensayos de instalaciones de bases de suelo entre las agencias de ensayos. Sin embargo, a pesar de que los tipos de suelos disponibles para las diferentes agencias de prueba localmente cumplen con las especificaciones del material, varían ampliamente en sus características, incluyendo la resistencia del suelo. Los procedimientos de instalación especifican el ancho y la profundidad del material de relleno para la inserción de postes, para asegurarse de que los resultados no sean afectados por las características del suelo local. Sin embargo, estas recomendaciones raramente fueron respetadas ya que requieren una cantidad excesiva de materiales de relleno para una típica instalación de ensayo. También hay otros factores que afectan la resistencia de suelo que no están claramente cubiertos por las especificaciones, como el contenido de la humedad. Estos factores condujeron a preocupaciones en relación con la repetitividad de los resultados de las pruebas entre las agencias de ensayos.

Para vencer estos obstáculos, a las especificaciones basadas en materiales contenidas en el Apéndice B del Reporte 350 NCHRP, fue agregada una especificación basada en desempeño. Se especifica un nivel mínimo de resistencia de suelo medido por un procedimiento in-situ, para asegurarse de que la resistencia de suelo sea comparable entre las diferentes agencias de ensayo. Los detalles del reporte in-situ se presentan en el Apéndice B y no serán repetidos aquí.

A cada agencia de ensayos se le pide que lleve a cabo un conjunto inicial de ensayos de calibración para establecer los valores de referencia para las pruebas in situ de la resistencia del suelo. Los propósitos de estos ensayos de calibración son definir el rango de resistencia de suelo entre las agencias de ensayo y establecer un valor mínimo aceptable. Sin embargo, se recomienda que las agencias de ensayo individuales también usen esta oportunidad para establecer relaciones entre la resistencia de suelo y los diferentes factores que tienen influencia sobre ella, como el tipo de material de relleno del suelo local, ancho y profundidad del material de relleno, granulometría, compresión, densidad del suelo y contenido de la humedad. La información permitiría a las agencias de ensayo juzgar si hay resistencia de suelo suficiente como para un ensayo sin necesidad de llevar a cabo los ensayos in-situ.

Los ensayos in-situ deben ser llevados a cabo inmediatamente antes de cada ensayo de choque para verificar que la resistencia de suelo supere el valor mínimo aceptable. Si los resultados de ensayo indican una resistencia de suelo insuficiente, el ensayo de choque debe ser pospuesto hasta que mejoren las condiciones de suelo. Para cada instalación, deben ser instalados un mínimo de dos postes para un ensayo in-situ en caso de que los primeros resultados del ensayo in-situ no sean aceptables. A menos que se instalen más de dos postes, habrá solamente dos oportunidades para las pruebas de resistencia de suelo in-situ. Por lo tanto, es importante para las agencias de ensayo que entiendan las relaciones entre resistencia de suelo y los diferentes factores que la alteran de modo que el ensayo in-situ se lleve a cabo sólo cuando las condiciones de suelos sean favorables.

A3.3.3 SUELOS ESPECIALES

Además del suelo estándar, debe ser usado suelo débil, para cualquier sistema cuyo comportamiento al impacto es sensible a la interacción de suelos-fundaciones o suelo-estructura si: (1) las zonas identificables del país o jurisdicción local en la cual se instalará el sistema contienen suelos con propiedades similares y (2) hay una incertidumbre razonable respecto al desempeño del sistema en el suelo débil. Los ensayos han demostrado que algunos soportes de señales pequeñas con base plegada o flexibles se retiran fácilmente del suelo débil en el momento del impacto. Para los sistemas de este tipo, el suelo fuerte generalmente es más crítico y quizá no sean necesarios los ensayos en suelo débil.

Además de la selección de suelo, la base o fundación utilizada en un ensayo de una estructura de soporte de quiebre debe diseñarse para condiciones mínimas de viento permitidas, obteniendo de esta manera un tamaño y masa de base mínimo; una base más grande implicará una mejor fijación para un dispositivo de quiebre y es, así, menos crítica.

El suelo estándar de la Sección 2.2.1.1 es especialmente sensible al contenido de la humedad. La agencia de ensayos debe tomar una muestra y probar el suelo para asegurar que el contenido de la humedad esté dentro de los límites recomendados dados en la especificación al momento de la prueba.

A3.3.4 EMPOTRAMIENTO DEL ARTÍCULO DE ENSAYO

Como se mencionó previamente, ha sido revisado el requerimiento del ancho y profundidad de los materiales de relleno. Cada agencia de ensayos puede establecer sus propios procedimientos de instalación, incluyendo el ancho del material de relleno y el método de compresión. Sin embargo, estos procedimientos de instalación deben ser controlados durante los ensayos de calibración y en todas las instalaciones futuras. El ancho mínimo del material de relleno debe ser la utilizada en los ensayos de calibración, pero son aceptables anchos mayores. También, la profundidad de los materiales de relleno siempre debe extenderse por debajo de los accesorios instalados.

A3.4 ARTÍCULO DE ENSAYO

Un fallo o un desempeño adverso de un dispositivo de seguridad en la ruta usualmente se atribuye a detalles aparentemente insignificantes del diseño o de la construcción, algo tan inocuo como una arandela de calidad inferior. Por esta razón, es muy importante asegurarse que el artículo de ensayo haya sido adecuadamente ensamblado e instalado, y que los materiales críticos tengan las propiedades de diseño especificadas. Los detalles de mayor preocupación son aquellos sometidos a altas tensiones (como las conexiones soldadas o atornilladas, cables de anclaje, conexiones entre cables y bases de hormigón) o aquellos que deben quebrarse o salir disparados durante los impactos (como las bases de señales de quiebre o los postes de debilitados). Los ensayos de compresión de bases de hormigón cilíndricas, ensayos de ensamblados de cable y ensayos de propiedades físicas y químicas de los materiales, en general, deben llevarse a cabo sobre una muestra aleatoria de los elementos del artículo de ensayo o ser obtenidos del proveedor del material. Aunque las especificaciones de materiales bien definidas y los modos de fractura adecuados no estén completamente desarrollados, las propiedades de todos los componentes y materiales utilizados en el artículo de ensayo deben ser documentados en detalle en el reporte de ensayo o al menos, ser reproducibles si surgieran dudas.

A3.4.2.1 Barreras Longitudinales

Se debe ejercer un juicio adecuado al establecer la longitud de instalación de ensayo. Al especificar la longitud mínima de una instalación de barrera longitudinal, la intención es minimizar la influencia de las terminales y, por lo tanto, simular una barrera larga. Este documento provee las recomendaciones en la instalación de longitudes mínimas y deben ser respetadas a menos que haya circunstancias atenuantes. Las longitudes de barrera pueden necesitar ser incrementadas para asegurarse de que los camiones pesados sean completamente contenidos antes de llegar al final de la barrera. Algo también para considerar es la posible necesidad de incrementar la longitud de la instalación de la barrera para observar una segunda colisión entre vehículo y barrera.

A3.4.2.4 Amortiguadores de Impacto montados sobre Camiones (TMA)

Ver los comentarios en la Sección A2.2.3.

A3.4.3 DOCUMENTACIÓN DE LA INSTALACIÓN PARA ENSAYOS

Se agrega un énfasis adicional en la documentación de las instalaciones para ensayos, desde diagramas CAD hasta los componentes y materiales. El objetivo de la documentación detallada de las instalaciones de ensayos es brindar a las agencias viales la información suficiente sobre los ensayos de choque para evaluar adecuadamente los artículos ensayados y los resultados. La instalación de ensayo debe ser descripta con el detalle suficiente para permitir la reconstrucción completa del artículo de ensayo.

CAPÍTULO CUATRO

A4.2 DESCRIPCIONES DEL VEHÍCULO DE ENSAYO

Tradicionalmente, se utilizaron dos vehículos de ensayos para representar la flota entera de automóviles operando en las rutas. La filosofía detrás de este enfoque es que, si un dispositivo en el costado de la ruta puede acomodar de manera segura ambos extremos del espectro de tamaños de vehículos, debería proveer un buen comportamiento para casi todos los tamaños intermedios de vehículos. Para la mayor parte de dispositivos de seguridad, se mantuvo el mismo enfoque en este documento. Durante las dos últimas décadas, la masa de los vehículos ha aumentado drásticamente a medida que fue creciendo la popularidad de los grandes vehículos utilitarios deportivos (SUVs). Es posible que el tamaño y naturaleza de la flota de vehículos cambie de forma significativa durante los siguientes 10 a 15 años, con los pesos de vehículo decaendo para acercarse a los promedios históricos. En dichas circunstancias, sería deseable revisar las especificaciones del vehículo de ensayo para reflejar de manera más precisa la nueva flota de vehículos. Debajo se presenta un breve sumario sobre este proceso.

Un vehículo de ensayo de tamaño medio, designado como 1500A, está incluido en la matriz de ensayo para evaluar los sistemas de barreras de cable y las terminales que absorben energía, los amortiguadores de impacto

y los amortiguadores de impacto montados sobre camiones. Este vehículo será utilizado para determinar si la instalación de un sistema de amortiguación es adecuada para acomodar de manera segura los impactos frontales a gran velocidad usando vehículos medianos. En esta situación, la masa del vehículo mediano llevará al dispositivo más allá del punto donde el vehículo 1100C sea detenido y posiblemente entre en los rangos de disipación de alta energía de un atenuador, donde las fuerzas de desaceleración puedan llegar a ser excesivas para los automóviles de tamaño medio. Por ello, la principal preocupación es que este ensayo cause velocidades de atropello excesivas. Dado que la activación de los sistemas de amortiguación está relacionado principalmente a la masa del vehículo y el ensayo es un impacto frontal, donde el derrape y los vuelcos no son factores, la masa total es el único parámetro importante de vehículo para el 1500A. La masa vehicular de 3314 lb (1500 kg) fue elegida después de evaluar el potencial de aceleración excesiva de atropello del ocupante en las terminales absorbentes de energía y amortiguadores de choque recientemente ensayados. Este análisis demostró que los vehículos de ensayo que pesan entre 2872 y 3755 lb (1300 y 1700 kg) probablemente causen aceleraciones de atropello excesivas.

Téngase en consideración que se espera que los diseñadores de sistemas de seguridad consideren la amplia gama de tamaños de vehículos al momento de diseñar dispositivos de atenuación. El ensayo de vehículos de tamaño medio es meramente agregado como un chequeo mínimo para verificar que los diseñadores están cumpliendo con esta meta. El ensayo no indica que los diseñadores no necesitan considerar otros pesos de vehículos entre el automóvil chico y los camiones livianos. Los sistemas de atenuación deben ser diseñados para acomodar todas las masas de vehículos entre 2425 lb y 5004 lb (1100 kg y 2270 kg).

A4.2.1 VEHÍCULOS DE PRODUCCIÓN

Manteniendo el enfoque utilizado en las pautas de evaluación de desempeño ante el impacto previas, se recomienda un modelo no específico del vehículo de ensayo para usarse en ensayos que requieren vehículos 1100C y 2270P. Aun así, se espera que se utilice un modelo único predominantemente para cada una de las dos categorías de vehículo. Acorde al Reporte 350 NCHRP (129), el Geo Metro y el Chevrolet C2500 se volvieron los vehículos de ensayo “no oficiales” utilizados por la mayoría de las agencias. Después de una evaluación cuidadosa de disponibilidad y características geométricas y estructurales de los diferentes vehículos en las dos categorías, se recomienda que el Kia Rio y el vehículo de dos ruedas motrices Dodge Ram 1500 Quadcab sean utilizados como los “modelos de vehículo de ensayos no oficial”.

El Reporte 350 NCHRP incluye una excepción que permitía a los vehículos 820C y 2000P tener más de seis años de edad al momento del reporte. La excepción se basaba en que la agencia de ensayo podía demostrar que:

“...las propiedades claves del vehículo de ensayo son esencialmente las mismas que la de un vehículo que cumple con todos los requisitos recomendados. Las propiedades claves incluyen aquellas mostradas en la Tabla 2-1 más las propiedades no especificadas que pueden cambiar con los modelos sucesivos, como la propiedad de la fuerza dinámica de deformación del paragolpes y la estructura frontal del vehículo y el perfil vehicular definido por la altura del paragolpes, altura del capó, el barrido del capó, el barrido del parabrisas y la altura del parabrisas.”

Basada en esta excepción, varias agencias de ensayo han utilizado vehículos de ensayo más antiguos. Desafortunadamente, ha habido poco esfuerzo en verificar que las características de fuerza-deformación sean similares a los vehículos dentro del límite de los seis años del modelo. Se requiere un análisis detallado,

incluyendo pruebas de validación en escala real, para determinar adecuadamente la similitud en las características de fuerza-deformación del vehículo. Además, las “propiedades no específicas” indicadas arriba no abarcan todas las características importantes de un vehículo que puedan afectar el resultado del ensayo. Por ejemplo, las características de suspensión y los modos de fallo demostraron ser muy importantes para muchos ensayos de barreras y transiciones. Con el aumento en la frecuencia de cambios en el diseño del mercado de camiones livianos, es impracticable intentar establecer que un vehículo antiguo es estructuralmente similar a uno dentro del límite de edad recomendado.

Por lo tanto, se revisó la excepción de utilizar camiones livianos y automóviles más antiguos en ensayos de choque en escala real. La excepción actual ahora permite que el modelo de los vehículos de ensayo esté dentro de los 6 años de la fecha en que se emprende el desarrollo del proyecto. Este cambio fue adoptado en reconocimiento de que algunos esfuerzos de investigación y desarrollo experimentan retrasos que potencialmente requiera que una agencia de ensayos venda un vehículo de ensayo y lo reemplace por uno nuevo. Bajo las pautas actuales, una agencia de ensayos puede comprar vehículos de seis años de edad sin temor a que el proyecto se extienda al calendario del año siguiente.

El costo de los camiones pesados descarta la implementación del límite de seis años para estos vehículos. Aun así, los reportes de camiones pesados deben ser estructuralmente sólidos y representativos de los diseños utilizados ampliamente. Cuando sea posible, se recomienda que los camiones pesados no tengan más de 12 años.

El diseño de vehículos de ensayos y las condiciones generales al momento del ensayo pueden tener una gran influencia en el desempeño ante el impacto de un sistema. Entre los parámetros más importantes se encuentran la altura del paragolpes del vehículo, configuración y rigidez, distribución de masa vehicular, sistema de suspensión y estructura del vehículo. Para asegurar un desempeño satisfactorio del sistema y consistencia en los resultados entre ensayos, los vehículos de prueba deben responder lo máximo posible a las propiedades de vehículo recomendadas. Los vehículos de ensayo deben tener condiciones estructurales sólidas sin daños mayores en la carrocería. Además, los neumáticos utilizados durante los ensayos de choque en escala real deben estar en buenas condiciones y deben igualar las especificaciones de fabricante mostradas en la placa de identificación.

Se debe evitar el uso de un vehículo para más de un ensayo de choque sin reparaciones, ya que el daño del vehículo puede afectar el desempeño en un ensayo posterior. Esto es importante particularmente en la evaluación de sistemas de seguridad como soportes de quiebre donde el aplastamiento de vehículo puede afectar significativamente los mecanismos de quiebre.

Los tres reportes de vehículos pesados, 10000S, 36000V y 36000T fueron seleccionados para la evaluación de la capacidad de las barreras longitudinales, donde son necesarios altos niveles de contención, como en puentes de alto volumen, viaductos y en medianas de autopistas de alto tránsito. En esta clase de situaciones, la penetración o el sobrepaso de la barrera conllevan un alto riesgo de fatalidad para el conductor y podría ser un peligro para el tránsito. Los reportes a escala real indican que se requieren alturas de aproximadamente 32 pulgadas (81 cm), 42 pulgadas (107 cm) y 80 pulgadas (203 cm) para las barreras rígidas en los vehículos 10000S, 36000V y 36000T respectivamente, cuando poseen el lastre recomendado.

Las agencias de ensayos y organismos viales deben estar conscientes de los posibles problemas que pueden ocurrir con un ensayo cuando se usa el vehículo de prueba 36000V. En particular, la fijación del chasis entre los tándems del remolque y el bastidor del remolque puede no ser de suficiente resistencia para proporcionar la

retención necesaria durante el ensayo especificado. Se cree que este problema es propio de los diseños de chasis corredizos o ejes deslizantes. En al menos una prueba, el chasis (el cual es del tipo corredizo) falló debido a la incapacidad de transferir cargas de impacto laterales y el remolque sobrepasó la barrera. En un ensayo similar con un chasis fijo, no ocurrió un fallo como este y el tráiler no pasó por sobre la barrera. Se recomienda un chasis deslizante para el tráiler de ensayo ya que es ampliamente utilizado en la industria. Si bien es deseable ensayar los sistemas con vehículos y equipos ampliamente utilizados, el objetivo principal de la prueba es demostrar la adecuación estructural de la barrera, no del remolque. Una barrera capaz de contener un tráiler con un eje deslizante quizá tenga que ser considerablemente más alta que otra capaz de contener un tráiler con un eje fijo. Aún así, la seguridad pública requiere una contención efectiva de todos los vehículos del camino. Si los ensayos revelan que este tipo de diseño de remolque causará un aumento significativo en el costo de los sistemas de barreras, se debe buscar apoyo de funcionarios y agencias para desarrollar diseños de remolques mejorados para eliminar este problema.

A4.2.1.1 Masa del Vehículo de Ensayo

El ensayo de masa inerte del vehículo 1500A fue seleccionado basado en análisis de impactos con vehículos desde las 2209 lb a las 4418 lb (1100 a 2200 kg). Las aceleraciones de atropello más altas ocurren cuando la masa del vehículo impactante estaba entre las 2872 lb a las 3755 lb (1300 kg y 1700 kg). La masa del vehículo mediano fue establecida en 3314 lb (1500 kg) porque ese punto se halla cerca del centro de lo que se creía que era el rango crítico y que proveía algunas consistencias con los procedimientos europeos de evaluación de los Dispositivos de Seguridad. En reconocimiento del amplio rango de masa vehicular que producen las aceleraciones de atropello del ocupante casi críticas, se consideró apropiada una variación en masa vehicular más grande, ± 221 lb (± 100 kg).

A4.2.1.2 Lastre

El lastre para los vehículos de ensayo que está libre para desplazarse o desprenderse durante el impacto puede ser totalmente ineficaz o sólo parcialmente efectivo en la carga de un dispositivo, porque tiende a moverse independientemente del vehículo. A menos que este específicamente diseñado para evaluar los efectos del desplazamiento de la carga, los reportes con los vehículos 10000S y 36000V se llevan a cabo con un lastre firmemente asegurado. El sistema de amarre debe ser capaz de resistir una carga lateral igual a aproximadamente diez veces el peso del lastre.

Téngase en consideración, sin embargo, que la experiencia de ensayo ha demostrado que es muy difícil diseñar un sistema de amarre de lastre para una camioneta o tráiler con la fuerza suficiente para resistir las típicas cargas de impacto por dos razones: (1) la ausencia de rigidez lateral en las paredes de la camioneta y (2) la altura del lastre debe estar ubicada por encima del suelo de la camioneta para lograr el centro de masa recomendado del lastre. Por razones económicas y de facilidad, comúnmente se usan bolsas de arena en tarimas como lastre durante los ensayos de camionetas o camiones con tráiler. Si bien esto logra la masa requerida y la altura del centro de masa, es difícil asegurar este tipo de lastre y se genera una carga lateral concentrada a cierta altura por encima del suelo de la camioneta durante el impacto. Sería preferible utilizar un material de lastre con la densidad más baja posible para que el lastre sea distribuido uniformemente en la longitud, ancho y alto de la camioneta, minimizando así la necesidad y los requerimientos estructurales del sistema de amarre. Fardos de heno han sido utilizados como un lastre de baja densidad.

A4.2.1.4 Daño del Vehículo

El daño del vehículo usualmente fue usado como un vínculo indirecto entre los ensayos de choque y los accidentes reales. La mayoría de los estudios basados en comparaciones de daño del vehículo se concentraron en la relación entre las medidas sustitutas de riesgo del ocupante, como la velocidad de impacto del ocupante, las aceleraciones de atropello y la probabilidad de heridas. Identificar la idoneidad de las medidas de riesgo del ocupante existentes y sus límites es fundamental para el perfeccionamiento futuro de las directrices de evaluación del desempeño ante el impacto. Por lo tanto, se recomienda que las agencias de ensayos documenten el daño del vehículo utilizando los índices de procedimiento de daño histórico, la Escala de Daño de Vehículo (VDS) (99) y la Clasificación de Daño por Colisión (CDC) (132) al igual que las técnicas de medidas directas descritas en el NASS Técnicas de Medición de Vehículo (156). Incorporar los procedimientos de medición de vehículo de NASS proveerá un vínculo entre los resultados de ensayos de choque a escala real y choques reales.

La deformación del habitáculo se usa como un indicador de la posibilidad de heridas del ocupante. Se cree que el riesgo de heridas está relacionado con la extensión de la deformación y, por lo tanto, se deben tomar precauciones para medir las deformaciones del habitáculo. Esta medida es complicada por el hecho que choques serios pueden deformar por completo el habitáculo. Como se describe en el Apéndice E, las medidas previas al ensayo deben hacerse utilizando dos ejes de referencia diferentes para minimizar los errores asociados con el daño reflejado en el interior del vehículo.

A4.2.1.5 Ocupantes Sustitutos

Los fabricantes de automóviles y la Administración Nacional de Seguridad de Tránsito en las Carreteras (NHTSA) dedicaron un esfuerzo considerable en actualizar la capacidad de respuesta y las técnicas de medición de dummies. Los dummies avanzados como el Hybrid III, Eurosid y THOR han sido desarrollados con hasta 134 canales de datos. Sin embargo, se llegó a la conclusión que el gran aumento de los costos para adquirir, mantener y aplicar dummies de este tipo, y la complejidad y demandas adicionales en adquisición de datos y sistemas de reducción de datos, resultarían mucho mayores que los beneficios agregados que podrían utilizarse en diseños de seguridad en los costados de la carretera. El uso de estos dummies es, por lo tanto, opcional. No se descubrió que los predecesores al dummy Hybrid III midan con precisión los riesgos de herida del ocupante y, por lo tanto, estos dispositivos se recomiendan, excepto para usarse en el estudio del movimiento bruto del ocupante y/o para estudiar los efectos de masa agregada en el ocupante.

Los modelos sofisticados de simulación de colisión de víctima (CVS) también están logrando mayores aplicaciones. Los modelos CVS incorporan simulaciones tridimensionales de los movimientos del ocupante durante el choque. La evaluación de riesgo del ocupante durante un ensayo de choque implica el uso de los datos de trayectoria del vehículo y aceleración de la prueba como insumo del programa CVS. El programa computa la respuesta dinámica de un ocupante posicionado en cualquier parte del compartimiento del pasajero ya sea en una condición restringida o libre de ataduras. Sin embargo, la cantidad y complejidad de los datos de entrada requeridos para los programas CVS, el costo de gestión de este programa y, más importante, la ausencia de cualquier registro de desempeño y demostración de eficacia de estos programas para predecir el riesgo del ocupante esencialmente excluye su aplicación en este momento.

A4.2.2 VEHÍCULOS DE ENSAYO SUSTITUTOS

El ensayo de dispositivos sustitutos como los vehículos bogie o péndulos ha sido utilizado para evaluar el desempeño ante el impacto de ciertos sistemas durante muchos años. Aunque estos dispositivos primariamente fueron utilizados para los ensayos de comportamiento de las señales de quiebre y soportes de luminarias, los vehículos bogie también se utilizaron para evaluar dispositivos de control de tránsito en zona de obra y algunos componentes de barreras, como los separadores y postes rígidos vigas W. Desafortunadamente, los diseños de vehículos bogie y péndulos no se mantuvieron al día con los cambios en la flota de vehículos. Como resultado, pocos de los sistemas bogie o péndulo existentes representan con precisión los vehículos de ensayo descritos en el Capítulo 4. Desde el momento en que estos sistemas sustitutos se desarrollaron, la rigidez y geometría de la mayoría de los automóviles han cambiado de manera significativa. Estos cambios en la geometría y rigidez frontal pueden tener un impacto significativo en el desempeño de algunos dispositivos de seguridad del costado del camino. Los temas a tratar cuando se utilizan vehículos sustitutos para las pruebas de conformidad se resumen a continuación, para cada tipo de dispositivo de seguridad donde su aplicación es apropiada.

Señales de Quiebre y Soportes de Luminarias – La energía disipada durante un impacto con un sistema de quiebre es influenciada por la rigidez de la estructura frontal del vehículo impactante. En general, una estructura de nariz flexible produce mayor disipación de energía antes de la activación del mecanismo de quiebre. Afortunadamente, los sistemas de narices deformables utilizados en los vehículos sustitutos actuales se cree que son muchos más flexibles que las estructuras de los actuales vehículos pequeños. Como resultado, se cree que las características de seguridad probadas con los sistemas de nariz deformables más antiguos son aceptables. Sin embargo, con el aumento de masa asociado con los vehículos de ensayo presentados aquí y las grandes mejoras en la resistencia al impacto de los automóviles modernos, no es apropiado continuar con ensayos que utilicen vehículos sustitutos viejos. Para que un vehículo sustituto sea utilizado en lugar de un vehículo en producción para ensayos de grandes estructuras de quiebre, la rigidez frontal al choque debe ser recalibrada para igualar la de un vehículo que cumpla con los requerimientos de la Sección 4.2.1. Las características de masa vehicular, como la distribución de peso y los momentos de inercia en la rotación también han cambiado de manera significativa. De ahí el por qué las características de la masa de vehículos sustitutos deben ser ajustada para igualar un vehículo de producción apropiado

Dispositivos de Control de Tránsito en Zona de Obra – Los dispositivos de control de tránsito en zona de obra incluyen un amplio rango de elementos libres que son utilizados para canalizar el tránsito y para advertir o guiar a los conductores. La pequeña masa de estos dispositivos libres limita en gran medida el máximo de desaceleración que se puede producir durante el impacto vehicular. En su lugar, el problema principal durante un impacto con estos sistemas es que un componente del dispositivo penetre en el compartimiento del ocupante o cause daño al parabrisas del vehículo de tal forma que impida a un conductor ver otros elementos en la zona de obra. Por eso, se usa la trayectoria del dispositivo de control de tránsito durante un impacto con un vehículo sustituto para evaluar el potencial de fallo del ensayo. Es necesario montar un parabrisas y un área del techo del vehículo en la punta del vehículo bogie para determinar la posibilidad de que un dispositivo de zona de obra penetre en un vehículo. Si se demuestra que el dispositivo barre la parte superior de la estructura del vehículo

sin entrar en contacto con la región del parabrisas del vehículo sustituto, la prueba se considera un éxito. Antes de utilizar un vehículo bogie en lugar de un vehículo en producción para evaluar el desempeño de los dispositivos de control de tránsito en zona de obra, debe ser calibrado contra ensayos de choque en escala real de sistemas similares.

Se recomienda que cualquier dispositivo de ensayo sustituto sea configurado para modelar un vehículo de producción específico, en lugar de un vehículo genérico, estableciendo que el vehículo modelado cumpla con las especificaciones para los modelos de vehículos de ensayo en producción, es decir, especificaciones que definan la tolerancia de antigüedad, peso, etc. Esta es, por mucho, la menos cara de las dos opciones ya que tienen que ser medidas las propiedades de solo un vehículo y el proceso de validación involucra ensayos de choque con solo un modelo de vehículo. Sería deseable que el FHWA o el NCHRP generen un proyecto en el cual todas las propiedades de vehículos bogie sean actualizadas y validadas periódicamente para mantener los bogies en uso dentro de las especificaciones. Este sería el enfoque más eficiente, ya que cada agencia de ensayos no tendría que hacerlo en forma independiente y aseguraría la uniformidad y consistencia entre las agencias de ensayo.

Postes de Guardarrieles y Separadores – Los ensayos de vehículos bogie habitualmente son usados para evaluar postes y la fuerza de los separadores cuando se consideran materiales diferentes para usarse en sistemas de barreras ya instalados. Los ensayos dinámicos de postes y separadores deben asegurar que los componentes de reemplazo propuestos sean equivalentes estructuralmente a las formas y materiales originales. A menudo se utilizan similitudes en los resultados de las pruebas de vehículos de bogie y / o de péndulo de los componentes de reemplazo propuestos y los originales como base para afirmar la equivalencia estructural. Las fuerzas de impacto normalmente son calculadas a través de aceleraciones medidas de los bogies o péndulos. Desafortunadamente, se ha demostrado que la inercia del poste contribuye significativamente a las aceleraciones medidas del bogie. Utilizar un sistema de nariz deformable en el frente del vehículo impactante ha demostrado eliminar virtualmente las contribuciones de la inercia en las aceleraciones medidas. Téngase en consideración que el sistema de nariz deformable no necesita ser el mismo que aquel usado para los ensayos de soportes frangibles. En su lugar, el sistema de nariz flexible meramente necesita tener una tensión inicial de deformación que esté por debajo de la resistencia esperada del poste y una tensión oblicua que corresponda a una fuerza de impacto que esté significativamente por encima de la fuerza estimada (63).

Para que dos postes y/o separadores sean estructuralmente similares, las características de fuerza-deformación deben, por lo menos, ser comparables. Un poste de reemplazo propuesto que puede sostener la misma carga final que un poste de madera, pero solo después de haberse deformado el doble, no puede ser considerado como estructuralmente similar. De igual forma, un separador que exhibe el 25 por ciento de compresión durante el reporte de los bogies o péndulos no puede ser considerado como estructuralmente similar a un bloque de madera que exhibe solamente el 5 por ciento de compresión durante el ensayo en las mismas condiciones. Por lo tanto, es importante medir tanto la fuerza de impacto como la deflexión del sistema durante la prueba de componentes. Téngase en consideración que cuando es utilizado un sistema de nariz deformable o flexible, la deformación del componente estructural debe ser medido directamente, utilizando un potenciómetro de cuerdas o algún dispositivo equivalente.

Los postes de guardarrieles y separadores usualmente se tensionan en forma de torsión y fallan debido a una combinación de flexión y torsión durante los ensayos de choque en escala real. Es importante que los procedimientos de ensayo de los vehículos sustitutos intenten evaluar la similitud estructural para esta condición de carga, así como también para las cargas perpendiculares. Las características de cargas torsionales pueden ser

evaluadas enganchando una barra de torsión al sistema de poste y separador y permitir al vehículo sustituto que golpee la barra de torsión en vez de hacer contacto directamente con el poste o el separador. Alternativamente, cuando se evalúan componentes para un elemento de viga relativamente flexible, como las vigas W, el vehículo sustituto puede ser configurado para que choque con un elemento de la viga conectado entre dos sistemas de poste y separador. En ambos casos, la fuerza de deflexión y deformación total antes del fallo debe ser similar para el reemplazo propuesto y para los componentes de la barrera convencionales.

A4.2.3 VEHÍCULO DE SOPORTE PARA AMORTIGUADORES DE IMPACTO MONTADOS SOBRE CAMIONES Y TRAILERS (TMA)

Bajo las pautas previas de evaluación, se recomendaron los vehículos de soporte para los ensayos de TMA para ser lastrados hasta una masa de 19881 lb (9000 kg). La ventaja de utilizar una masa de camión de soporte estandarizada es que todos los TMAs son probados bajo condiciones similares. Desafortunadamente, en la práctica, los TMAs usualmente son montados en camiones de soporte que pesan más de 19881 lb (9000 kg). No se puede asegurar a los usuarios un desempeño ante el impacto adecuado cuando un TMA es montado a un camión de soporte más pesado que aquel que se usa durante el ensayo de choque en escala real. Los usuarios también han cuestionado el desempeño de los TMAs cuando están montados sobre camiones de soporte livianos. En este caso, un impacto de alta energía puede propulsar el vehículo una larga distancia hacia adelante y potencialmente poner en peligro a los trabajadores. Para minimizar estos problemas, las pautas fueron revisadas a efectos de permitir a los diseñadores definir ambos, un peso de camión de soporte máximo y uno mínimo para ser utilizado con un TMA. Los Reportes 50, 51 y 52 son llevados a cabo con el TMA montado a un camión de soporte con el peso máximo definido y el Reporte 53 se lleva a cabo con el camión de soporte peso mínimo disponible. Téngase en consideración que no se ha designado ningún límite superior para la distancia de avance durante el Reporte 53. La trayectoria de avance medida debe ser reportada para este ensayo para que los potenciales usuarios coloquen el camión de soporte en una ubicación segura, en relación a la cuadrilla de trabajo.

Los reportes de TMA históricos han demostrado que el lastre colocado en el medio de un camión de basura se desplazará significativamente durante el impacto. Este lastre que se desplaza reduce el peso efectivo del vehículo de soporte del TMA. El desplazamiento del lastre debe ser controlado para asegurar de que un TMA tendrá un desempeño adecuado para los vehículos que pesan el máximo asignado. Esto se puede lograr utilizando elementos de lastre rígidos ya sea asegurados al piso del camión o asegurados contra la parte trasera de un camión de basura. Si se utiliza el lastre suelto, debe ser colocado en el piso del camión de basura de manera de evitar cualquier desplazamiento significativo.

Se considera que el frenado recomendado del vehículo de soporte es representativo de las condiciones típicas en servicio. La Prueba 52 está diseñada para evaluar tanto los riesgos de los ocupantes como la distancia de avance del camión de soporte. Téngase en cuenta que las distancias de avance para los camiones de soporte pesados pueden ser estimadas mediante los principios de mecánica de “conservación del impulso” y cálculos de fricción simples. Los resultados de la Prueba 52 pueden ser utilizados como una línea de base para estimar la distancia de avance para los camiones de soporte pesados.

A4.3.1 ESPECIFICACIONES DE INSTRUMENTACIÓN

Aunque no es requerido en este momento, se alienta a la agencia de ensayos para desarrollar la capacidad de determinar los seis componentes de aceleraciones para la masa de rebote (asumiendo que es un cuerpo rígido)-aceleraciones traslativas en los ejes vehiculares x , y y z y las aceleraciones angulares sobre estos ejes. Estos

datos, así como también los desplazamientos y velocidades correspondientes, deben ser mostrados en función del tiempo, en el reporte en planos o tablas.

La alta velocidad de la filmación es esencial para los estudios de las dinámicas de choque a efectos de determinar el comportamiento del vehículo de ensayo y el artículo probado. Además, la filmación de alta velocidad ha sido utilizada por algunas agencias como un sistema de respaldo para determinar las aceleraciones vehiculares y cinemáticas. La guía para este sistema secundario consta de (1) dispositivo de temporización interno o externo, (2) referencias estacionarias localizadas en el campo de visión de al menos dos cámaras situadas a con una separación de 90 grados, y (3) Apéndice C. Deben reportarse las ubicaciones, las coordenadas de referencia, la posición de las cámaras y los puntos de impacto. Los objetivos de referencia deben ser ubicados en el costado y la parte superior del vehículo de ensayo, y debe ser del tamaño y distancia de separación suficientes para permitir una interpretación precisa de la película. El instante del impacto debe ser señalado con una unidad de flash colocada en la visión de las cámaras de datos y deben ser registrados en los dispositivos de grabación electrónica.

A4.3.2 UBICACIÓN DE ACELERÓMETRO Y GIRÓSCOPO, Y REDUCCIÓN DE DATOS

El bloque de instrumentación utilizado para medir los movimientos del vehículo debe ser asegurado a la estructura del vehículo. Idealmente, el mecanismo de enganche debe ser capaz de transmitir una aceleración de 250-G al dicho bloque sin sufrir ninguna deformación plástica en el montaje o en el equipo de fijación.

Las aceleraciones vehiculares se utilizan en la evaluación de los resultados de los ensayos mediante el modelo de espacio de latigazo del ocupante (“occupant flail space model”). Las aceleraciones también pueden ser usadas para estimar las fuerzas de impacto entre el vehículo y el artículo de ensayo. Aunque se recomienda que los acelerómetros sean colocados cerca del c.g. del vehículo, la experiencia ha demostrado que esto no siempre se puede hacer debido a las restricciones físicas dentro del vehículo. Como resultado, la colocación real del conjunto de acelerómetros puede estar a una distancia significativa del centro de masa. Dependiendo de la inclinación, pueden producirse diferencias importantes entre las aceleraciones medidas y las del centro de masa para los impactos de redirección (como los impactos con una barrera longitudinal) o los impactos que causan movimientos vehiculares angulares.

El siguiente procedimiento se recomienda solamente si los acelerómetros no pueden ser colocados dentro de las 2 pulgadas (5 cm) del centro de masa, medido en el plano x - y . Aunque no se tienen en cuenta los movimientos de balanceo (rotaciones alrededor del eje x del vehículo), el método ha demostrado niveles aceptables de certeza, incluso para movimientos de balanceo moderados.

Procedimiento:

- 1) Un conjunto de acelerómetros tri-axiales (Conjunto 1 en la Figura A-1) es montado en un bloque común y colocado lo más cerca posible al centro de masa del vehículo, con las direcciones positivas correspondientes a la convención de signo positivo dada en la Figura 4-6. La medición de la aceleración vertical (dirección z) es opcional, aunque preferible. El conjunto debe ser montado junto con la línea central longitudinal (junto con el eje x) del vehículo. Teóricamente, no es necesario que el Conjunto 1 sea colocado cerca del centro de masa, sin embargo, esto es recomendado en caso de que el Conjunto 2 falle. Es preferible que la distancia h esté dentro de las $\pm 1,2$ pulgadas (3 cm) de la distancia H .

- 2) Un conjunto de acelerómetros tri-axiales (Conjunto 2 en la Figura A-1) es montado lo más lejos que sea práctico, ya sea enfrente o detrás del Conjunto 1, preferiblemente a una distancia de 23,6 pulgadas (60 cm) o mayor. Téngase en consideración que ambos conjuntos deben ser montados hacia adelante de la interfaz cabina-base para el vehículo 2270P. La distancia de separación de los dos conjuntos debe ser tan grande como sea práctico para reducir los errores computacionales, siempre y cuando los acelerómetros so sean colocados en un área que se espera que sufra deformaciones dinámicas locales significativas. El Conjunto 2 también debe ser montado junto con la línea central longitudinal del vehículo. Es preferible que la distancia h_2 esté dentro de los $\pm 0,8$ pulgadas (2 cm) de la distancia h_1 .
- 3) Usando la producción de los dos conjuntos de acelerómetros y de distancias de d_1 y d_2 , aceleraciones laterales, longitudinales y verticales en el centro de la masa son computadas por la Ecuaciones A4-3, desarrolladas debajo. Téngase en consideración que d_1 y d_2 y sus señales son medidas con respecto al origen de los ejes x - y - z ubicados en el centro de la masa. Para las posiciones mostradas en la Figura A-1, ambos d_1 y d_2 son positivos. Sin embargo, no es necesario que cualquiera de los dos sea positivo.
- 4) Los valores de d_1 , d_2 , h_1 , h_2 y H deben ser grabados y reportados como se muestra en la Figura A-1

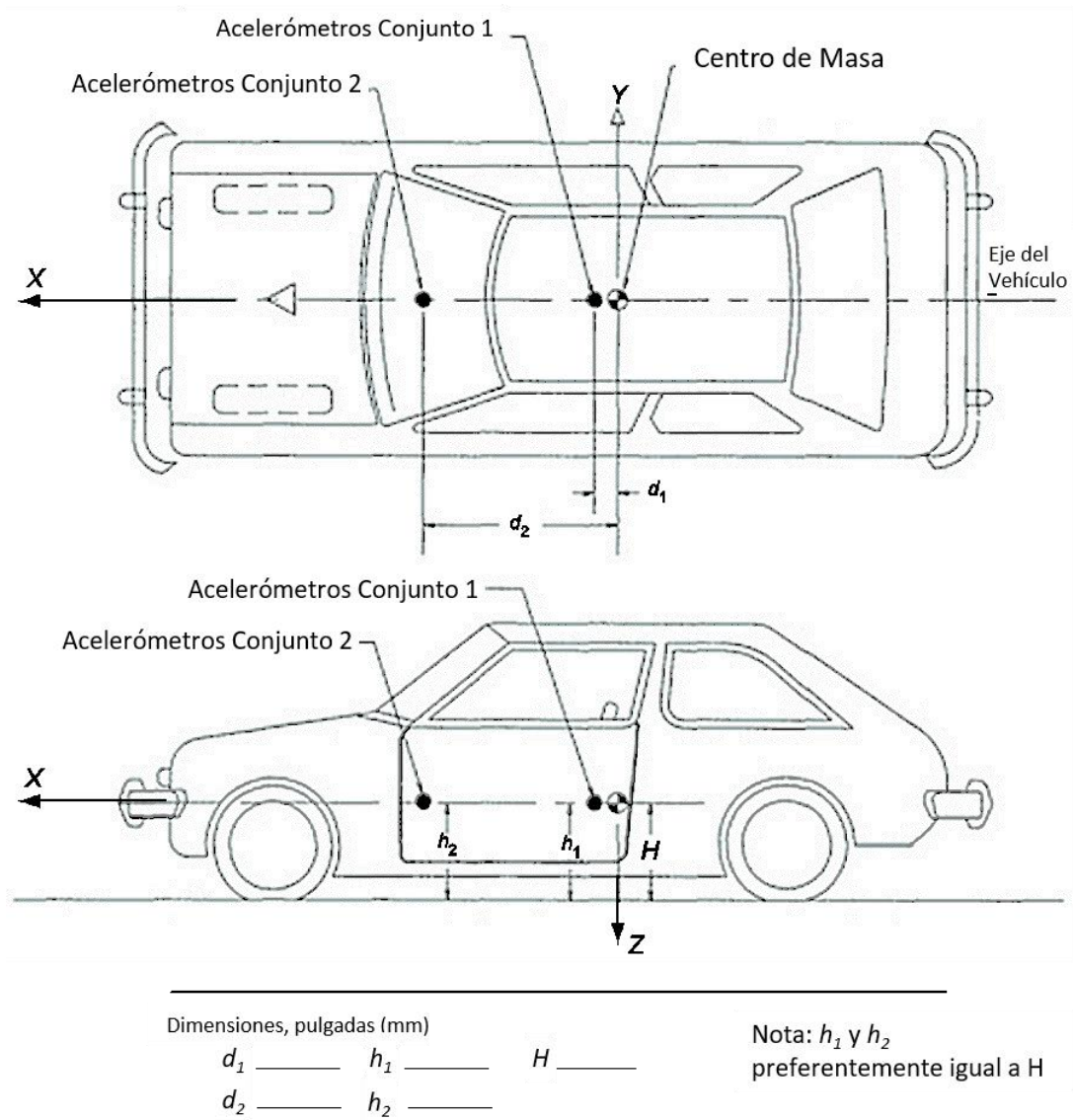


Figura A-1. Ubicación de los Acelerómetros

Derivaciones de Ecuaciones:

Las aceleraciones en la dirección longitudinal a_x , dirección lateral a_y y dirección vertical a_z son medidas por:

$$a_x = a_{xg} + d\dot{\omega}(\omega_y^2 + \omega_z^2)$$

$$a_y = a_{yg} + d\dot{\omega}_z$$

$$a_z = a_{zg} - d\dot{\omega}_y$$

(Ecuación A4-1)

Donde

a_{xg}, a_{yg}, a_{zg} = aceleraciones longitudinal, lateral y vertical en el centro de masa

$\omega_y, \omega_z, \dot{\omega}_y, \dot{\omega}_z$ = velocidades de cabeceo y rotación, y aceleraciones de cabeceo y rotación.

Por lo tanto, la aceleración en los puntos 1 y 2, como se muestra en la Figura A-1, son dados por:

$$a_{x_1} = a_{xg} - d_1 (\omega_y^2 + \omega_z^2)$$

$$a_{y_1} = a_{yg} + d_1 \dot{\omega}_z$$

$$a_{z_1} = a_{zg} - d_1 \dot{\omega}_y$$

$$a_{x_2} = a_{xg} - d_2 (\omega_y^2 + \omega_z^2)$$

$$a_{y_2} = a_{yg} + d_2 \dot{\omega}_z$$

$$a_{z_2} = a_{zg} - d_2 \dot{\omega}_y$$

(Ecuación A4-2)

Las ecuaciones A4-2 pueden ser resueltas para obtener las aceleraciones deseadas en el centro de masa, a_{xg}, a_{yg} , y a_{zg} de la siguiente manera:

$$a_{xg} = \frac{d_2 a_{x_1} - d_1 a_{x_2}}{d_2 - d_1}$$

$$a_{yg} = \frac{d_2 a_{y_1} - d_1 a_{y_2}}{d_2 - d_1}$$

$$a_{zg} = \frac{d_2 a_{z_1} - d_1 a_{z_2}}{d_2 - d_1}$$

(Ecuación A4-3)

Obsérvese que la segunda y la quinta ecuación, y la tercera y sexta ecuación del conjunto A4-2 pueden ser resueltas para obtener una solución explícita para las aceleraciones de cabeceo y rotación de la siguiente manera:

$$\dot{\omega}_y = \frac{a_{z_1} - a_{z_2}}{d_1 - d_2}$$

$$\dot{\omega}_z = \frac{a_{y_1} - a_{y_2}}{d_1 - d_2}$$

(Ecuación A4-4)

Se puede obtener la velocidad de cabeceo ω_y , en cualquier momento, T , después del impacto, añadiendo la velocidad de cabeceo al impacto a la integral de la primera ecuación del conjunto A4-4 con respecto al tiempo desde el impacto hasta el tiempo T . La velocidad de rotación ω_z puede ser computada de manera similar utilizando la segunda ecuación del conjunto A4-4.

Se recomienda medir y registrar tanto la escala de daño del vehículo (VDS) (anteriormente conocida como la escala de datos de accidentes de tránsito (TAD)) como la clasificación de daño de colisión (CDC), por las siguientes razones: Primero, el VDS ha estado en uso durante muchos años por varias agencias de investigación de accidentes y existe un considerable banco de datos que relaciona el VDS con las heridas del ocupante. Así, al no reportar el VDS, se perdería el vínculo de los futuros ensayos con estos datos históricos. En segundo lugar, la Administración Nacional de Seguridad del Tránsito en las Carreteras (NHTSA) ha estandarizado el CDC para sus investigaciones multidisciplinarias de accidentes. Por lo tanto, el CDC es necesario para vincular el daño del vehículo de ensayo (en el cual son medidas las aceleraciones) a los accidentes reales, en los cuales se documenta las heridas del ocupante.

CAPÍTULO 5

A5.1 GENERALIDADES

El criterio de evaluación recomendado está limitado a valorar el desempeño frente al impacto de dispositivos en las rutas para las condiciones ideales de ensayo de choques en escala real. El propósito básico de los ensayos de choques en escala real es descartar aquellos sistemas propuestos que posean deficiencias funcionales y comparar los méritos relativos de dos o más sistemas de seguridad promisorios. Los resultados de los ensayos son insuficientes para proyectar el desempeño total de un dispositivo de seguridad para su uso en servicio o en una situación de colisión real. La evaluación final de un sistema de seguridad debe estar basada en una documentación rigurosa de su uso en servicio.

El criterio para evaluar un ensayo de choque vehicular de un dispositivo de seguridad sigue el modelo del Reporte 350 NCHRP (129) y consiste en tres factores interrelacionados: La adecuación estructural, riesgo del ocupante y trayectoria de vehículo después del impacto. En comparación al Reporte 350 NCHRP, el criterio presentado en la Tabla 5-1 incorpora los siguientes cambios y/o modificaciones (se dan discusiones más profundas de estos ítems en las siguientes secciones):

- (a) Criterio A: Se incorporó lenguaje adicional para aclarar el comportamiento aceptable del vehículo.
- (b) Criterio D: Se especificaron límites para la deformación o intrusión en el habitáculo.
- (c) Criterio F: Se especificaron límites para los ángulos máximos de balanceo y cabeceo.
- (d) Criterio H e I: Se especificó la precisión de la velocidad de impacto del ocupante (OIV) y aceleración de atropello (RA) aceptables.

(e) Criterio J: Fue eliminado el uso del dummy Hybrid III como una medida opcional de riesgo del ocupante durante impactos frontales.

(f) Los criterios K, L y M fueron eliminados.

A5.2 CRITERIOS Y FACTORES DE EVALUACIÓN

A5.2.1 ADECUACIÓN ESTRUCTURAL

El factor de adecuación estructural esencialmente evalúa el sistema desde un aspecto estructural y mecánico. Dependiendo del sistema, las condiciones que deben ser examinadas incluyen:

1. **Fuerza:** Para las barreras longitudinales, se requiere contención y redirección del vehículo de ensayo. También se considera satisfactoria la condición de controlar la detención mientras el vehículo permanece en contacto con la baranda y esto es agregado al Criterio A. Las terminales y amortiguadores de impacto redirectivos deben desarrollar fuerzas de anclaje necesarias para condiciones previstas en el sitio.
2. **Geometría:** Los elementos longitudinales de rieles deben hacer contacto con el vehículo impactante a la altura apropiada para evitar que el vehículo pase por debajo o sobrepase la instalación. Como regla general, la superficie de contacto barrera-vehículo debería facilitar una redirección suave. Las discontinuidades de riel como los empalmes y transiciones, y otros elementos como los postes de soporte no deberían generar enganche, a tal punto que el criterio de riesgo del ocupante no se cumpliría o podría ocurrir otro modo de falla. Las barreras rígidas conformadas, como la barrera de hormigón New Jersey, deben diseñarse considerando la estabilidad de los vehículos de ensayo.
3. **Mecanismos:** Rigidez, deformación, mecánica del quiebre, fractura, absorción y/o disipación de energía, etc, son características de un sistema que deben ser verificados sobre todo el rango de los vehículos de ensayo.

En general, un dispositivo de seguridad debería lograr su función de redirigir, contener, detener o permitir una penetración controlada de los vehículos de ensayo, de manera predecible y segura. Balanceos violentos, cabeceos y rotaciones prolongadas son comportamientos inaceptables, indicativos de interacciones dinámicas inestables e impredecibles.

A5.2.2 RIESGO DEL OCUPANTE

Las relaciones entre el riesgo del ocupante y las dinámicas del vehículo durante la interacción con un sistema de seguridad al costado de la carretera son extremadamente difíciles de cuantificar porque involucran factores muy importantes y ampliamente variables, como la fisiología del ocupante, tamaño, posición del asiento, altura y restricción, geometría interna del vehículo y los sistemas de seguridad. Hay herramientas analíticas sofisticadas y experimentales disponibles que pueden definir de mejor manera estas relaciones, como el programa de

computadora Simulador de Víctimas de Choque (CVS) (54) y el uso de dummies antropométricos instrumentados. Sin embargo, el uso de estas herramientas se consideró inviable para el presente documento debido a: (a) los costos asociados con su compra y/o uso, (b) nivel de instrumentación y conocimientos necesario y (c) la ausencia de la experiencia de las agencias de ensayos involucradas en la evaluación de los sistemas de seguridad. Se necesitan estudios para definir de mejor forma la viabilidad y efectividad de las herramientas de este tipo para mejorar la evaluación del riesgo del ocupante en los ensayos de choque.

Deformación del Habitáculo e Intrusión

El Criterio N del Reporte 350 NCHRP indica que “No deben ser permitidas deformaciones o intrusiones dentro del habitáculo que puedan causar heridas graves.”. Sin embargo, no se previó una guía en el documento sobre la extensión de la deformación o intrusión que pueda ocasionar este tipo de heridas. La Administración Federal de Rutas (FHWA) proporcionó algunas pautas provisorias sobre los límites máximos aceptables. Se llevó a cabo una evaluación detallada sobre este tema y se estableció un conjunto de criterios de evaluación más objetivos.

Primero, se hizo una clara distinción entre: (a) penetración, en la cual un componente del artículo de ensayo realmente penetra en el habitáculo y (b) intrusión o deformación, en la cual el habitáculo es deformado y su tamaño se ve reducido. No se permite la penetración de ningún elemento del artículo de prueba en el compartimiento del ocupante.

Segundo, para la deformación o intrusión, se reconoció que la posibilidad de heridas graves varía según al área del vehículo dañado. Por ejemplo, la deformación en el área del techo podría ser potencialmente más seria que en el área de la rueda debido a la proximidad entre la cabeza y el techo. Por lo tanto, las extensiones límites de la deformación deben variar acorde a ello.

Tercero, las dimensiones límites de la deformación están basadas en las pautas recomendadas desarrolladas por el Instituto de Seguros para la Seguridad en las Carreteras (IIHS) para evaluar el desempeño estructural de los vehículos en ensayos de choques frontales oblicuos. Las pautas recomendadas están basadas en los resultados de choques frontales oblicuos seleccionados, en escala real, los cuales son los siguientes:

Clasificación	Extensión de la Intrusión
Bueno	< 6 pulgadas. (150 mm)
Aceptable	6 pulgadas. – 9 pulgadas. (150 – 225 mm)
Marginal	9 pulgadas. – 12 pulgadas. (225 – 300 mm)
Pobre	> 12 pulgadas. (300 mm)

Los comentarios sobre las dimensiones límites individuales se presentan de la siguiente manera:

Techo \leq 4 pulgadas. (102 mm) – Una dimensión límite de deformación mucho más baja fue seleccionada para el área del techo ya que la altura libre dentro del vehículo es limitada y es posible que los impactos en la cabeza provoquen heridas graves o fatales.

Parabrisas – Ninguna rasgadura de la película plástica y una deformación máxima de 3 pulgadas (76 mm). Se seleccionó una amplitud límite de deformación menor para el área del parabrisas ya que el ocupante, particularmente alguno sin cinturón de seguridad, se desplazaría hacia el parabrisas. Por lo tanto, la deformación del parabrisas aumentaría el potencial del que un ocupante impacte contra el mismo y podría causar heridas severas. El desgarramiento de la película plástica también podría conducir a una penetración en el habitáculo y, por lo tanto, no está permitido. Téngase en cuenta que un desgarramiento en la película plástica del parabrisas solo puede ser descartado cuando existe la posibilidad de que un componente del artículo de ensayo penetre en el vehículo. El desgarramiento de la película plástica producido cuando un artículo de ensayo hace contacto con las estructuras de soporte del parabrisas es aceptable.

Ventanas – La ventanilla del costado no debe quebrarse como resultado de un contacto directo con un elemento estructural del artículo de ensayo. En casos donde las ventanillas están laminadas, se aplicarán las pautas para parabrisas. Se observó que la cabeza de los ocupantes habitualmente golpea la ventanilla del costado durante los impactos redirectivos. Por lo tanto, si el cristal del costado fue quebrado por el contacto directo con un elemento estructural del artículo de ensayo, es lógico asumir que la cabeza del ocupante también podría golpearse con dicho elemento y dar lugar a lesiones graves.

Rueda y espacios de ubicación de los pies ≤ 9 pulgadas (229 mm) – La dimensión límite de deformación en estas áreas corresponde al rango aceptable que recomienda el IIHS. Debido a la proximidad de las extremidades inferiores del ocupante en estas áreas, cualquier deformación resultaría en heridas a las mismas. Aunque dichas heridas no son típicamente graves, pueden ser severas, resultando en discapacidades de permanentes.

Panel frontal lateral (Adelante del Pilar-A) ≤ 12 pulgadas (305 mm) – La **dimensión límite** de deformación en estas áreas corresponde las de rango marginal que recomienda el IIHS. Aunque la deformación en el panel frontal lateral aún puede resultar en heridas serias a las extremidades inferiores, la posibilidad es menor ya que estas en general están ubicadas lejos de este panel.

Área de la Puerta Lateral delantera (sobre el asiento) ≤ 9 pulgadas (229 mm) – La **dimensión límite** de deformación en estas áreas corresponde al rango aceptable que recomienda el IIHS. Debido a la proximidad del torso del ocupante a esta área, cualquier deformación resultaría en heridas serias para el ocupante.

Área de la Puerta Lateral delantera (debajo del asiento) ≤ 12 pulgadas (305 mm) – La extensión límite de deformación en estas áreas corresponde al rango aceptable que recomienda el IIHS. Es razonable asumir que el ensamblado del asiento protegería al ocupante de algunas de las deformaciones y es adecuado establecer un límite mayor.

Áreas de paneles del piso y túneles de transmisión ≤ 12 pulgadas (305 mm) – La extensión límite de deformación en esta área corresponde al rango marginal que recomienda el IIHS. La deformación en estas áreas típicamente es el resultado de daños inducidos, los cuales tienen un potencial mucho menor de lesiones graves que la deformación por los contactos directos. Se debe hacer énfasis en que cualquier daño al habitáculo debe ser documentado cuidadosamente en forma de fotografías y mediciones, particularmente en las áreas donde se

exceden las extensiones máximas permitidas. Lo mismo se aplica para cualquier daño o rotura del tanque de combustible, cárter de aceite u otros elementos como un tanque de combustible sustituto.

Modelo de Espacio de Latigazo

El Reporte 350 NCHRP (129) continuó utilizando modelos de espacio de latigazo de puntos de masa simplificados, desarrollados antes en el Reporte 230 NCHRP (92) para evaluar riesgos de los ocupantes debido a las aceleraciones vehiculares. Se utilizan dos medidas de riesgo: (1) velocidad de impacto del ocupante (OIV) - la velocidad en la cual un ocupante hipotético impacta una superficie interior y (2) aceleración de atropello – la aceleración experimentada por el ocupante, después del contacto con la superficie interior. El modelo de espacio de latigazo ha servido bien a su propósito y no hay indicaciones de que los sistemas diseñados y evaluados de este modo hayan tenido un desempeño contrario en servicio. Por lo tanto, se decidió que se conservaría este modelo para el presente documento.

Todas las agencias de ensayo usan ahora un programa de computadora estandarizado para la determinación de los factores de riesgo del ocupante. Esto debería promover consistencia entre las distintas agencias y asegurar la precisión de los cálculos.

Una fuente de errores potenciales son las inconsistencias en las posiciones de los acelerómetros y los giróscopos utilizados al medir las aceleraciones y las velocidades de rotación, por ejemplo, cuando no se colocan en el centro de masa del vehículo. Las recomendaciones contenidas en la Sección 4.3.2 deberían eliminar o reducir en gran medida este problema.

En el enfoque de espacio de latigazo, lateral y longitudinal, aunque no vertical, se utilizan las aceleraciones vehiculares medidas en el centro de masa del vehículo. Al exigir que el vehículo permanezca vertical mientras dure la colisión durante el ensayo, se cree que el componente vertical de la aceleración del vehículo adquiere importancia secundaria respecto a las cinemáticas del ocupante para los ensayos de terreno nivelado descriptas en este documento y para la mayoría de los dispositivos en el costado de la carretera. En consecuencia, la aceleración vertical es considerada un factor opcional en el presente y se ha descuidado en los cálculos de este modelo.

La estrategia de diseño de desempeño debe ser: (1) mantener la velocidad interior del ocupante del vehículo baja, minimizando las aceleraciones vehiculares promedio o cambios en la velocidad del vehículo en el momento en que el ocupante se desplaza por el espacio interior y (2) limitar las aceleraciones máximas del vehículo durante el desplazamiento del ocupante.

Valores Límites para la Velocidad de Impacto y Aceleración de Atropello

En la Tabla 5-1 del Reporte 350 NCHRP (129) se dan dos conjuntos de valores límites: “preferibles” y “máximos”. Los valores limitantes “máximos” deben ser tratados como límites de entrada. Los resultados de los ensayos deberían estar por debajo de estos límites y, mejor aún, no deben exceder los valores “preferibles” para promover sistemas de desempeño seguro. Al desarrollar valores de aceptación apropiados, se debe considerar el estado de lo posible (es decir; ¿podría crearse un dispositivo, sin importar el costo, que tenga un desempeño como lo indican los requisitos?) y el costo-efectividad (es decir; ¿podría el aumento de nivel de desempeño

frente al impacto justificar el costo agregado?). Establecer valores de aceptación es una decisión política y, por lo tanto, está más allá de alcance de este reporte.

Algunas preguntas surgieron sobre el redondeo de valores límites debido a las conversiones desde las unidades inglesas en el Reporte 230 (92) al sistema SI del Reporte 350 NCHRP. Para evitar esta clase de argumentos, los valores límites máximos han sido establecidos de la siguiente manera: 40 pies/seg (12,20 m/seg) para la velocidad de impacto del ocupante lateral y longitudinal, 16 pies/seg (4,9 m/seg) para la velocidad de impacto del ocupante longitudinal de las estructuras de soporte de quiebre y 20,49 G para la aceleración de atropello.

El valor limitante para la velocidad de impacto del ocupante longitudinal originalmente fue colocado en 40 pies/seg (12,2 m/seg) en el Reporte 230 NCHRP, lo cual fue convertido en 39,4 pies/seg (12 m/seg) en el Reporte 350 NCHRP. Dado que se aprobaron varios dispositivos de seguridad con los valores límites máximos a 40 pies/seg (12,2 m/seg), este límite es utilizado para permitir la continuidad entre las directrices. El valor limitante para la velocidad de impacto longitudinal del ocupante de las estructuras de soporte de quiebre originalmente fue colocado en 15 pies/seg (4,6 m/seg) con una velocidad de impacto de 20 mph (32,2 km/h). Estos valores fueron convertidos a 16 pies/seg (4,9 m/seg) con una velocidad de impacto de 21,8 mph (35,0 km/h). Por lo tanto, el valor máximo limitante de 16 pies/seg (4,9 m/seg) ya representa una moderación significativa del requerimiento y debe ser considerado como el valor máximo limitante. El Reporte 230 NCHRP especificó 20 G como el límite máximo, el cual fue mantenido en el Reporte 350 NCHRP. Algunos diseñadores de equipamiento discutieron que, dado que el límite fue colocado como un número entero, el valor limitante máximo real debería ser 20,49 G para dar cuenta del redondeo y algunos dispositivos fueron aceptados con este valor limitante. Una vez más, se recomienda un valor límite de 20,49 G para mantener continuidad entre las pautas.

Procedimientos de Cálculo

La expresión para la velocidad de impacto del ocupante es:

$$V_{I_{x,y}} = \int_0^{t^*} a_{x,y} dt \quad (\text{Ecuación A5-1})$$

Donde $V_{I_{x,y}}$ es la velocidad de impacto del ocupante en el interior del automóvil en la dirección x o y , $a_{x,y}$ es la aceleración vehicular en la dirección x o y , y t^* es el tiempo en el que el ocupante se ha desplazado 2 pies (0,6 m) hacia adelante o 1 pie (0,3 m) lateralmente, el valor más pequeño. El tiempo t^* es determinado por una integración incremental de la siguiente manera:

$$X, Y = \int_0^{t^*} \int_0^{t^*} a_{x,y} dt^2 \quad (\text{Ecuación A5-2})$$

Donde $x = 2$ pies (0,6 m), e $y = 1$ pie (0,3 m). La aceleración en la dirección x es integrada dos veces respecto al tiempo para encontrar el valor del tiempo, t_x^* , en la cual la doble integración equivale a 2 pies (0,6 m). La aceleración en la dirección y es integrada dos veces respecto al tiempo para encontrar el valor del tiempo, t_y^* , en la cual la doble integración equivale a 1 pie (0,3 m). El tiempo t^* es el menor entre t_x^* y t_y^* .

En ensayos de sistemas de quiebre, el impulso del vehículo puede ser relativamente bajo y de corta duración. No es inusual en esta clase de ensayos que x e y sean menores de 2 pies y 1 pie (0,6 m y 0,3 m) respectivamente, en el periodo en el cual se registran las aceleraciones, o en el momento en el que se aplican los frenos del vehículo de ensayo. En estos casos, se recomienda que la velocidad de impacto del ocupante sea equivalente al cambio en la velocidad del vehículo que ocurre durante el contacto con el artículo de ensayo o partes del mismo. Si algunas partes del artículo de ensayo aún permanecen en el vehículo después del impacto, el cambio en la velocidad del vehículo debe ser computado en el momento en que el vehículo pasa los cimientos o la base del artículo de ensayo.

Para que las aceleraciones de atropello produzcan heridas al ocupante deben tener, por lo menos, una duración mínima que vaya desde los 0,007 seg a los 0,04 seg, dependiendo de las partes del cuerpo (158). Por lo tanto, los “picos” de la aceleración vehicular de duración menor a 0,007 seg no son críticos y deben promediarse desde el impulso. Se ha seleccionado una duración arbitraria de 0,010seg como una base temporal conveniente y de alguna forma conservadora, para las aceleraciones promedio para la evaluación de riesgo del ocupante. Esto se logra tomando un promedio móvil de 10-ms de las aceleraciones vehiculares “instantáneas” en las direcciones x e y , posteriores a t^* .

La velocidad de impacto del ocupante y los valores aceleración promedio más altos que 10-ms se comparan con los límites recomendados; es deseable que ambos valores estén por debajo de los límites "preferibles"; Los valores que excedan los límites "máximos" se consideran inaceptables.

Las recomendaciones relativas a las medidas de las aceleraciones están dadas en la Sección 4.3.2 y en el Apéndice C. Además, para los propósitos de estandarización de cálculos de riesgo del ocupante, se establecen las siguientes recomendaciones:

- (1) Previo a la integración indicada en las fórmulas anteriores, los datos analógicos del acelerómetro deben ser digitalizados en 1500 muestras por segundo. Esto es consistente con las recomendaciones del Apéndice C, Sección 8.2. Se recomienda que la tasa de muestreo sea, como mínimo, ocho veces F_h , donde $F_h = 180$ para la medición de respuesta vehicular. Téngase en consideración $F_h \times 8 = 1440$, lo cual es redondeado a 1500 por conveniencia y facilidad de integración.
- (2) Se recomienda que la suposición de “aceleración lineal” o la “regla trapezoidal” equivalente, sean utilizadas para integrar los datos de acelerómetro digitalizado. Como tal, se asume que las aceleraciones varían linealmente sobre cada paso de tiempo t_i hasta $t_i + 1$. La descripción de la regla trapezoidal puede encontrarse en la mayoría de los libros de texto de métodos numéricos.

A5.2.3 RESPUESTA VEHICULAR POST IMPACTO

En general, la meta del desempeño de trayectoria vehicular después de la colisión ideal para todos los sistemas es que la trayectoria vehicular y la posición de detención final no deben irrumpir en el caudal de tránsito adyacente ni opuesto. Para los soportes de quiebre o que ceden, la trayectoria de un vehículo después de que ha

colisionado con un artículo de ensayo que satisface los requerimientos de adecuación estructural y de riesgo del ocupante generalmente se aleja de la corriente de tránsito y es, así, menos crítica. Para los impactos en los extremos de amortiguadores de impacto y terminales de barreras que funcionan como amortiguadores, la posición final del vehículo, preferiblemente, debería estar cerca del dispositivo de ensayo.

Para los ensayos de desempeño redirectivo de longitud necesaria, transiciones, terminales, y amortiguadores de impacto redirectivos, la trayectoria después de la colisión es más difícil de evaluar. Esta trayectoria puede ser uno de los factores de desempeño que menos se repite por la variación en la aplicación del método y el instante en el que se aplica el freno. Además, variables que están en parte relacionadas con el modelo específico de vehículo seleccionado para los ensayos, como el daño a las suspensiones, los neumáticos, etc, podrían alterar el camino y la estabilidad del vehículo. Además, debido a que la respuesta del conductor para evitar colisiones secundarias no está simulada en los ensayos de choques, parece inapropiado predecir el desempeño en servicio basados en la trayectoria de ensayo completa.

Las agencias viales deben evaluar la trayectoria del vehículo después del impacto de un dispositivo de seguridad en el costado de la carretera teniendo en cuenta las condiciones de campo reales. Para muchos ensayos, debería proveer información suficiente para que las agencias viales hagan su evaluación un diagrama en escala mostrando la trayectoria después del impacto del vehículo, incluyendo el punto de detención. Para algunos sistemas se proporciona información adicional, como el criterio de evaluación de los dispositivos redirectivos a través de la “caja de salida” y la velocidad de “rebote” para amortiguadores de impacto y sistemas de atenuación reutilizables.

Para los dispositivos redirectivos, es preferible que el vehículo sea redirigido suavemente. Como se muestra en la Figura 5-1, la caja de salida está definida por la cara de la barrera del tránsito inicial de la barrera y una línea paralela a ésta, a una distancia A más el ancho del vehículo, más 16 por ciento de la longitud del vehículo, comenzando en la intersección final (quiebre) de la huella de la rueda con la cara de tránsito inicial de la barrera para una distancia de B. Es preferible que el vehículo salga dentro del “buzón de salida”, es decir, todas las huellas de las ruedas del vehículo no deben atravesar esta línea paralela dentro de la distancia B. Como punto de referencia, la “caja de salida” equivale a un ángulo máximo de salida de 12,4 grados.

El rebote del vehículo ha sido observado para algunos amortiguadores de impacto y sistemas de atenuación reutilizables, lo cual podría conducir potencialmente, a colisiones secundarias. Para proporcionar a las agencias viales la información necesaria respecto al uso y colocación de dichos amortiguadores de choque, se requiere que las agencias de ensayo documenten e informen la velocidad de rebote y el punto de descanso final, como se indica en la Sección 5.2.3. Aunque estos requisitos de reporte están previstos principalmente para amortiguadores de impacto sistemas de atenuación reutilizables, también se aplicarán a cualquier sistema que pueda dar como resultado un rebote del vehículo de ensayo.

A5.3 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

Debido a la naturaleza de gran variación y no estandarización de las características geométricas, no se proporcionan pautas específicas de evaluación y ensayo para las mismas. Sin embargo, debería ser un objetivo

de las agencias de transporte diseñar e implementar características geométricas que cumplan el espíritu de las recomendaciones de seguridad para los dispositivos de defensa en los costados de la carretera mejor definidos.

Las pautas de evaluación dadas en esta sección fueron extraídas de un análisis de prácticas pasadas y la experiencia colectiva de aquellos involucrados en la preparación del documento. Son, necesariamente, generales y pueden ser modificadas como sea necesario para incluir diseños o condiciones de ensayo especiales.

CAPÍTULO SEIS

A6.1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA REPORTES

Debe tenerse en cuenta que las pautas de reportes presentadas aquí están previstas como requerimientos mínimos. La filosofía subyacente es que los ensayos deben ser documentados con el detalle suficiente para que puedan ser repetidos por otro laboratorio de pruebas sin mucha investigación. No es posible incluir todos los detalles necesarios para cumplir esta meta. El nivel de detalle actual necesario varía dependiendo de los objetivos del ensayo, del artículo de ensayo y los niveles de ensayo involucrados. Si hay alguna duda sobre la inclusión de algunos detalles en el reporte, se recomienda que toda información adicional se incluya para asegurar que el ensayo es adecuadamente documentado.

CAPÍTULO SIETE

A7.1 PROPÓSITO

Las pautas de evaluación de desempeño en servicio pretenden fomentar una implementación más consistente, sistemática y rigurosa de nuevos dispositivos y monitorear el desempeño en el campo de los sistemas de seguridad de manera continua. Con un cuidadoso monitoreo de un nuevo dispositivo, pueden ser identificados los problemas imprevistos y las deficiencias de diseño, antes que el sistema sea instalado en un número excesivo de sitios. Además, todos los departamentos involucrados dentro de una agencia vial, tendrán la oportunidad de observar el desempeño del dispositivo en relación a sus operaciones. Por ejemplo, puede haber cambios de diseño menores recomendados por los equipos de mantenimiento que pueden reducir el mantenimiento normal o los costos de reparación de los daños. Sin embargo, se debe tener cuidado de no hacer cambios en aquellos detalles de diseño que podrían afectar de manera adversa el comportamiento de un dispositivo ante un impacto, sin la verificación adecuada mediante ensayos de choque a escala real u otros métodos aceptables.

El monitoreo continuo de dispositivos de seguridad instalados asegura que los cambios en las características de vehículos y tránsito no afectan de manera negativamente el desempeño en campo de los dispositivos. Este aspecto de evaluación de desempeño en servicio no estaba incluido en las pautas generales descriptas en el Reporte 350 NCHRP (129), sino que fueron agregadas a este documento en reconocimiento de la necesidad de monitorear el comportamiento teniendo en cuenta los cambios en el parque vehicular y otros desarrollos de seguridad.

La FHWA continúa sirviendo como el árbitro clave en establecer la aceptación de nuevos dispositivos de seguridad, especialmente aquellos utilizados en autopistas con financiación federal. La aceptación de un nuevo

dispositivo de seguridad está basada en los detalles de diseño, especificaciones y resultados de ensayos de choque, pero no hay evaluación del desempeño en servicio de los sistemas. Por lo tanto, la responsabilidad de la evaluación del desempeño en servicio de sistemas de seguridad nuevos y existentes caería sobre las agencias de transporte estatales. Para los dispositivos de seguridad patentados, quizá sea conveniente que los diseñadores o fabricantes patrocinen o contribuyan a este análisis de evaluación de desempeño en servicio.

La necesidad de evaluación de desempeño en servicio es bien reconocida, pero sólo ha habido una implementación limitada de programas que la evalúen, debido a la falta de recursos, tanto en términos financieros como de mano de obra. Las agencias de transporte estatales enfrentan el problema de incrementar la carga de trabajo y reducir el presupuesto y puede ser difícil desviar recursos de las necesidades más urgentes. Sin embargo, sería muy beneficioso y extremadamente recomendado el establecimiento de un programa de evaluación de desempeño en servicio, incluso si es en una escala limitada. Se deben explorar alternativas, como compartir los recursos de diferentes estados y cooperar con diseñadores y fabricantes de dispositivos patentados. Los resultados de los estudios de evaluación de desempeño en servicio deben ponerse a disposición de otras agencias de transporte estatales y difundirse a través de canales como los Servicios Nacionales de Información Técnica (NTIS), centros de recursos regionales de la FHWA y consorcios de fondos comunes.

También se recomienda establecer un nuevo centro nacional de evaluación de desempeño en servicio. Este centro serviría para:

- Compilar y difundir los resultados de estudios sobre la evaluación de desempeño en servicio
- Coordinar esfuerzos para compartir recursos de varios estados para llevar a cabo estudios de evaluación de desempeño en servicio.
- Llevar a cabo estudios de evaluación de desempeño en servicio

En resumen, no se puede enfatizar excesivamente la necesidad de evaluar el desempeño en servicio de dispositivos de seguridad en los costados de la carretera, nuevos y existentes. Se necesitan más estudios para evaluar y monitorear el desempeño en el campo y los resultados de estos estudios deben ser difundidos a las agencias viales.