

Capítulo 1

Introducción

1.1 PROPÓSITO Y ALCANCE

El propósito de este manual es presentar pautas uniformes para los ensayos de choque de los sistemas de seguridad en las rutas, tanto permanentes como temporales; y el criterio de evaluación recomendado para evaluar los resultados de dichas pruebas. También se presentan pautas generales para la evaluación de los sistemas de seguridad actualmente en servicio. Estas pautas y criterios que han evolucionado durante los últimos 40 años, incorporan la actualización tecnológica, el sentido común y la pericia de los expertos en diseño de seguridad en los costados de la carretera. Proporcionan: (1) una base sobre la cual los investigadores y agencias viales pueden comparar los meritos del desempeño de impacto en los dispositivos de seguridad propuestos, (2) una guía de nuevos dispositivos de seguridad para los constructores de caminos; y (3) una base sobre la cual las agencias viales pueden formular especificaciones en el comportamiento para los dispositivos de seguridad.

La meta de un sistema de seguridad es desarrollar una carretera que reduzca el riesgo de un impacto serio ante una eventual salida de la calzada. La meta de seguridad se alcanza cuando un sistema contiene o redirige al vehículo lejos de un obstáculo existente al costado de la carretera, desacelera el vehículo hacia un lugar seguro, se rompe o se fractura fácilmente, permite una penetración controlada, o es traspasable, sin causar lesiones graves a los ocupantes del vehículo, a otros automovilistas, peatones o personal en zona de obras.

Idealmente, los costados de la carretera deberían estar libres de obstrucciones, incluyendo elementos de la infraestructura vial innecesarios, y ser traspasables para que un conductor errante pueda recuperar el control del vehículo y detenerse o retornar al camino. Sin embargo, hay numerosas áreas al costado de la carretera que en la práctica no pueden ser despejadas de todos los objetos fijos o peligrosos. En estos sitios, se prevé el uso de dispositivos de seguridad para reducir las consecuencias de un despiste en la carretera.

Las pautas de ensayos de choque presentes aquí cubrirán las pruebas de vehículos para evaluar el desempeño ante el impacto de los sistemas de seguridad permanentes y temporales. El desempeño se evalúa en términos de riesgo de lesiones graves para los ocupantes en el vehículo que impacta, la capacidad estructural del sistema de seguridad elegido, la exposición a trabajadores o peatones que quizá se encuentren detrás de una barrera o

en la trayectoria de los elementos que puedan sobrevolar como consecuencia del impacto contra el dispositivo y el comportamiento post-impacto del vehículo ensayado. Otros factores que deben ser evaluados en el diseño de un sistema de seguridad como la estética, los costos (inicial y posterior mantenimiento) y durabilidad (la capacidad para soportar las condiciones ambientales como el congelamiento y las altas temperaturas, la carga de fatiga inducida por el viento, radiación ultravioleta, etc.) no se incluyen en este documento.

Los procedimientos descritos incluyen pautas para el desempeño de evaluación de impacto directo mediante ensayos de choques en escala real, así también como los procedimientos generales para la evaluación del sistema de seguridad en su campo de desempeño. Los nuevos sistemas de seguridad o revisiones significativas de los diseños existentes deben ser evaluados mediante ensayos de choque en escala real. Luego de que un dispositivo fue ensayado para cumplir con las pautas de desempeño ante el impacto, se debería pasar a la evaluación del mismo en su campo de desempeño mientras se encuentra en servicio. Se recomienda realizar evaluaciones del desempeño en servicio cuando se ponen en servicio nuevos dispositivos de seguridad.

Las pautas para los ensayos de choque proporcionan un conjunto de requisitos mínimos que un sistema de seguridad de carretera debe cumplir para demostrar su desempeño satisfactorio durante un impacto. Sin embargo, cabe aclarar que, si bien estas pautas son representativas y aplicables a una variedad diferente de sistemas de defensa, no se hallan incluidas todas las posibilidades. La experiencia nos ha demostrado que a medida que se vayan creando nuevos diseños es posible que los procedimientos de ensayo actuales no evalúen las condiciones críticas de los mismos. La experiencia también ha demostrado que se deberán realizar evaluaciones y ensayos de los sistemas no considerados en las directrices actuales. Sólo se justifica desviarse de las pautas cuando otros ensayos o criterios de evaluación sean más apropiados y representativos del sitio o de las condiciones del diseño. Sin embargo, debe entenderse que es impracticable examinar un sistema particular teniendo en cuenta todas las condiciones que existen en un área y debe aplicarse un juicio ingenieril al desarrollar políticas de uso de estos sistemas bajo diferentes condiciones.

Estos ensayos de choque y pautas de desempeño ante un impacto sustituyen aquellas contenidas en *NCHRP Reporte 350: Procedimientos Recomendados para Evaluar el Desempeño de Seguridad de Dispositivos Viales*. Las principales revisiones incorporadas aquí que son relativas al Reporte 350 incluyen: (a) cambios de vehículos de ensayo, (b) cambios de los números y condiciones de impacto de las matrices de ensayo, (c) cambios al criterio de evaluación; y (d) incorporación de nuevos dispositivos de seguridad a las pautas de análisis.

1.2 FILOSOFIA SUBYACENTE

La filosofía subyacente en el desarrollo de pautas es la de “peores condiciones prácticas”. Cuando se seleccionan los parámetros de análisis, como el vehículo de ensayo, velocidad de impacto y combinación del ángulo, punto de impacto, matriz de ensayo, etc., cada esfuerzo se hace para especificar las peores y más críticas condiciones. Por ejemplo, el peso del automóvil pequeño de ensayo fue seleccionado para representar aproximadamente el segundo percentil de vehículos de clase pasajeros, es decir, solo el dos por ciento de los vehículos pesan menos que el peso del vehículo de ensayo. La velocidad de impacto combinada con el ángulo representa el percentil 93 de los accidentes reales, es decir, solo el siete por ciento de los choques son más severos. Cuando son considerados los efectos combinados de los parámetros de ensayo, éstos representan la intensidad de las condiciones de impacto que se esperan en un accidente real. Implícitamente también supone

que si un sistema de seguridad al costado de la carretera se comporta satisfactoriamente en ambos extremos entonces el sistema debería funcionar bien con todas las condiciones de impacto intermedias. Esta suposición demostró ser razonable para la mayoría de los sistemas de seguridad en los costados de la carretera.

Por otro lado, la selección de los parámetros de ensayo debe ser práctica para que los sistemas de seguridad en los costados de la carretera desarrollados en concordancia con las pautas, sean rentables y proporcionen mayores niveles de seguridad sin imponer una exagerada carga financiera a las agencias viales. Se debe considerar la tecnología disponible y los costos asociados a ella. La relevancia de los parámetros de ensayo también debe ser tomada en cuenta, como el incremento en relación con el nivel de seguridad y los efectos potenciales en los sistemas existentes y recientemente desarrolladas. En varios aspectos, la selección de parámetros de ensayo es una decisión política en cuanto a qué nivel de seguridad debe ser provisto y a qué costo por parte de los organismos viales.

Otra filosofía subyacente utilizada en el desarrollo de las pautas para los sistemas de seguridad seleccionados en los costados de la carretera es la de “estado-de-lo-posible”. Ejemplos de dichos dispositivos incluyen señales frangibles o de quiebre, soportes lumínico y dispositivos de control de tránsito transitorios para zona de obras en construcción de Categoría II. Para estos sistemas de seguridad en los costados de la carretera, la tecnología ya está disponible para el diseño y la fabricación de dispositivos capaces de alcanzar los criterios más estrictos de evaluación que aquellos especificados para otros sistemas de seguridad en los costados de la carretera, de ahí el término “estado-de-lo-posible”. Por ejemplo, el límite de velocidad de impacto del ocupante (OIV) para las estructuras de postes está establecido en 16 pies por segundo (5 m/seg), en vez de 39 pies por segundo (12 m/seg) y se recomiendan pautas más estrictas para evaluar el daño del parabrisas para los dispositivos transitorios de control de tránsito en zona de obra en construcción de Tipo I y Tipo II. La lógica de esta filosofía subyacente es que, dado que la tecnología está disponible para alcanzar este criterio más estricto evitando mayores erogaciones, resulta beneficioso para los usuarios la provisión de un mayor nivel de seguridad.

1.3 LIMITACIONES DEL DESEMPEÑO

Se debe reconocer que el desempeño ante un impacto de un sistema de defensa en una carretera no puede ser determinado solamente con una serie de pruebas de choque. Los ensayos de choque deben ser vistos como una condición necesaria, aunque no suficiente, para que el sistema funcione satisfactoriamente en condiciones reales. Primero, los ensayos de choque son llevados a cabo sobre condiciones ideales para que el desempeño ante el impacto pueda ser evaluado y comparado bajo condiciones controladas. Segundo, incluso los métodos de investigación más cuidadosos tienen límites en sus resultados dictados por leyes físicas, la estabilidad del vehículo y su capacidad de amortiguación.

Por ejemplo, algunos sitios no poseen espacio suficiente para desacelerar un vehículo de forma segura, sin importar el diseño de su atenuador de choque. Independientemente del sistema de contención, ciertos soportes estructurales pueden ser tan macizos que el vehículo impactante sea desacelerado abruptamente, limitando así el desempeño de impacto alcanzable sin un cambio en la tecnología de soporte. No hay garantía de que un sistema que haya superado las recomendaciones de examen para vehículos ensayados descriptas aquí, tenga un desempeño satisfactorio si es impactado por un vehículo derrapando de lado a lado o en rotación. Algunos tipos de vehículos pueden llegar a carecer de masa o tamaño suficiente o características de amortiguación necesarias, como la fuerza de la interfaz, dureza, propiedades de control de choque y estabilidad para brindar

a los ocupantes un nivel de protección aceptable, ej., ningún suministro para el diseño y la prueba de sistemas de seguridad para vehículos de dos ruedas se analiza en esta publicación. Las condiciones supuestamente insignificantes de sitios como los cordones, las pendientes y el terreno blando pueden contribuir al fracaso en el desempeño de un dispositivo de seguridad en ciertas condiciones de impacto.

Por estas razones, los sistemas de seguridad generalmente son desarrollados y probados para ciertas situaciones idealizadas que pretenden abarcar una gran mayoría, aunque no todas, de las posibles colisiones en servicio. Aun así, es necesario que los resultados de las pruebas sean evaluados e interpretados por investigadores competentes y que la evaluación sea dada por un sólido juicio de ingeniería. Es de esperarse que ciertos sistemas, a pesar de cumplir con el criterio de evaluación y ensayo descrito aquí, se encuentren con condiciones en servicio que el examen no cubra. Variaciones en los materiales particulares, como el incremento y la disminución de la resistencia del material a la conformación del acero de un lote a otro o la sensibilidad térmica del modulo de los materiales hechos con polímero han demostrado alterar la fuerza o dureza de algunos dispositivos de seguridad en los costados de la carretera de manera significativa. Y para ampliar, las variaciones en los detalles de instalación en el área puede afectar en sentido material el desempeño de ciertos sistemas de seguridad en los costados de la carretera. Por lo tanto, las agencias viales pueden, bajo su propio riesgo, requerir de pruebas adicionales y exigencias de evaluación más allá de los que fueron descritos aquí. El corolario de esto es también de esperarse, es decir, ciertos dispositivos que no cumplen con todos los criterios de ensayo y evaluación recomendados aquí pueden ser alternativas rentables para algunas aplicaciones en servicio. En este caso, las agencias viales pueden continuar utilizando ciertos sistemas de seguridad que demostraron tener un buen desempeño de impacto mediante una evaluación de desempeño en servicio.

Finalmente, se debe hacer hincapié en que estas pautas son planeadas para las pruebas de choque y la evaluación de dispositivos de seguridad en los costados de la carretera, pero no es obligatorio su uso. En otras palabras, estas pautas no aclaran dónde, cuándo y cómo los sistemas de seguridad en los costados de la carretera deben ser empleados en el terreno. Las agencias de usuarios deben seguir las pautas indicadas en AASHTO *Guía de Diseño al costado de la carretera* (4) y formular políticas internas para las instrucciones relativas a las exigencias de uso.

1.4 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Las pautas de evaluación de desempeño ante el impacto cubren dispositivos de seguridad en las carreteras, tanto de carácter transitorio como permanente, que incluyen:

- Barreras longitudinales:
 - Barreras flexibles y semi-rígidas
 - Barreras rígidas
 - Barreras de transición

- Terminales en:
 - Defensas laterales

- Defensas en medianas

- Amortiguadores de impacto:
 - Redireccionables
 - No redireccionables

- Estructuras de soporte:
 - Señales y luminarias
 - Postes
 - Dispositivos de control de tránsito en zonas de obra

- Canalizadores de atenuación en zonas de obra en construcción:
 - Amortiguadores de impacto montados sobre camiones (AAC)
 - Canalizadores longitudinales
 - Otros

- Otros dispositivos:
 - Compuertas de tránsito
 - Atenuadores

- Drenaje y características geométricas

Cabe mencionar que esta lista de dispositivos de seguridad en los costados de la carretera no es completamente inclusiva y pueden desarrollarse nuevos sistemas no especificados en esta lista. Los procedimientos de pruebas y evaluaciones actuales pueden no incluir las condiciones críticas ni el desempeño al impacto para estos nuevos diseños. Además, la lista no incluye barreras o dispositivos previstos para otros propósitos como las barreras de seguridad diseñadas para detener vehículos impactantes sin importar la condición del ocupante. Los requisitos de ensayos y evaluación para dichos dispositivos deben ser consultados con las respectivas Agencias, como el “Departamento de Estado” de los EE.UU o las especificaciones de la AAEM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).

1.5 NIVELES DE ENSAYO

Las barreras longitudinales pueden ser evaluadas hasta seis niveles de ensayo y otros sistemas destinados a los costados de la carretera pueden ser evaluadas hasta tres niveles. Un nivel de ensayo es definido por las condiciones de impacto (velocidad y ángulo de aproximación) y el tipo de vehículo de ensayos (variando en tamaño, desde un auto chico hasta un camión con acoplado totalmente cargado), como se observa en la Tabla 1-1. Los primeros tres niveles de ensayo están limitados a los vehículos livianos, mientras que los últimos tres incorporan alguna forma de camión pesado. Nótese que las barreras longitudinales son los únicos dispositivos de seguridad definidos en seis niveles, hasta el momento. Todas las otras medidas de seguridad fueron diseñadas exclusivamente para vehículos como los automóviles y las camionetas. Un dispositivo diseñado y probado para un examen de bajo nivel generalmente se usa en carreteras de baja velocidad y volumen de tránsito reducido, como una carretera rural secundaria, carretera local o calle urbana, mientras que una medida diseñada y probada para un examen de alto nivel se usa en carreteras de alta velocidad y volumen de tránsito importante, como una autopista. Cabe mencionar que los sistemas que cumplan con el nivel de ensayo tendrán diferentes características en el desempeño. Pese a que una barrera tanto rígida como flexible puede ser diseñada para cumplir con un determinado nivel de ensayo, siempre podrá tener diferente utilidad. La barrera rígida produce una rápida desaceleración del vehículo, impidiendo cualquier tipo de deformación lateral, mientras que la barrera flexible produce desaceleración baja, con mayor deformación lateral y tiene bajas probabilidades de redirigir el vehículo impactante de regreso a la ruta. Además, existen diferentes clasificaciones de desempeño para ciertos sistemas de seguridad, como los amortiguadores de impacto. Por ejemplo, un amortiguador puede ser diseñado para redirigir un vehículo impactante hacia el mismo lado del amortiguador (otorgándole el término Amortiguador Redirectivo) o puede ser diseñado para desacelerar el vehículo hasta detenerlo en el mismo lado del amortiguador (otorgándole el término Amortiguador no-redirectivo). Ambos diseños pueden estar diseñados para cumplir con un determinado nivel de ensayo.

Si bien las pautas han sido formuladas específicamente para ofrecerle al profesional una orientación considerable en el diseño y ensayo de un dispositivo de seguridad, no es el propósito ni está dentro del alcance de este documento el determinar en dónde la medida tendría su uso apropiado dentro de las carreteras del país correspondiente, habiendo cumplido previamente con el nivel de ensayo y teniendo características de desempeño específicas. Esa decisión yace en las manos de la Agencia de transporte responsable del desarrollo, operación y mantenimiento del camino.

TABLA 1-1. NIVELES DE ENSAYO

Nivel de ensayo	Tipo y Designación de Vehículo de Ensayo	Condiciones del Examen	
		Velocidad Millas/hora (km/h)	Ángulo (grados)
1	1100C (Automóvil)	31 (50)	25
	2270P (Camioneta Pick-up)	31 (50)	25
2	1100C (Automóvil)	44 (70)	25
	2270P (Camioneta Pick-up)	44 (70)	25
3	1100C (Automóvil)	62 (100)	25
	2270P (Camioneta Pick-up)	62 (100)	25
4	1100C (Automóvil)	62 (100)	25
	2270P (Camioneta Pick-up)	62 (100)	25
	10000S (Camión Simple)	56 (90)	15
5	1100C (Automóvil)	62 (100)	25
	2270P (Camioneta Pick-up)	62 (100)	25
	36000V (Semirremolque)	50 (80)	15
6	1100C (Automóvil)	62 (100)	25
	2270P (Camioneta Pick-up)	62 (100)	25
	36000T (Camión tanque)	50 (80)	15

*Ver Capítulo 2 para una descripción detallada de cada designación de vehículo

1.6 ARMONIZACIÓN INTERNACIONAL

En acuerdo con los preparativos de la primera edición de este documento, el Comité Europeo de Normalización (C.E.N) estaba preparando un documento similar para la Unión Europea (U.E). El desarrollo en los Estados Unidos y en el C.E.N estaban siendo observados y se hizo todo esfuerzo posible por armonizar los estándares de desempeño de impacto, ej. Usando las mismas condiciones de ensayo y criterio de evaluación o similares. Sin embargo, dada las diferencias inherentes de las autopistas y controles de tránsito entre los Estados Unidos y la Unión Europea, pueden encontrarse variaciones entre las pautas de EE.UU y los estándares del C.E.N..

1.7 HERRAMIENTAS EXPERIMENTALES Y ANALÍTICAS

El diseño y desarrollo de un sistema de seguridad es un proceso complicado en el cual se usa una prueba de choque a escala real para demostrar el satisfactorio desempeño al impacto del sistema. Durante las primeras etapas de diseño y desarrollo usualmente se utilizan herramientas experimentales y analíticas para ayudar al proceso, que incluyen:

- Principios de mecánica
- Ensayo de estática
- Ensayos dinámicos

- Simulación por computadora

El diseño inicial es típicamente desarrollado usando carga estructural y procedimientos de diseño basados en los principios de la mecánica. Los ensayos de estática se realizan en ciertos componentes y conexiones cruciales para elaborar datos como la capacidad óptima de los materiales, la fuerza de la conexión, características de carga/desviación, etc. Los ensayos dinámicos se realizan para probar subsistemas o prototipos de los dispositivos, mediante el uso de un vehículo péndulo o bogie, por ejemplo, para determinar las características de energía de absorción de un material en condiciones de impacto dinámicas. Los resultados de los ensayos de estática y dinámica son, a su vez, incorporados en los modelos de computadora para simular y evaluar el desempeño de los dispositivos en diferentes condiciones, incluyendo los estudios paramétricos. El diseño inicial es modificado en base a los resultados de los ensayos de estática, dinámica y la simulación por computadora.

Cabe destacar que los diseñadores pueden variar al momento de construir o no utilicen más de una de estas herramientas experimentales y analíticas, dependiendo del sistema. Algunos sistemas son relativamente simples de diseñar o sus características son bien conocidas de trabajos previos, de tal forma que el diseño inicial puede pasar a la etapa de prueba sin necesidad de pasar por estos pasos intermedios. Otros sistemas son más complicados y requieren de toda herramienta disponible. Estas herramientas experimentales y analíticas son invaluable para el diseño y proceso de desarrollo y deberían usarse en la mayor medida posible. Se presenta una discusión más detallada sobre estas herramientas experimentales y analíticas en el Apéndice D.

Los modelos hechos en computadora que usan un código de análisis de elementos finitos, como el LS-DYNA, ha hecho significativos avances en los años recientes y ahora es una herramienta fundamental en el desarrollo y prueba de los sistemas de seguridad en los costados de la carretera. Los modelos hechos en computadora proveen un método para los diseñadores de sistemas de seguridad a efectos de evaluar el desempeño ante el impacto de un sistema sin una prueba de choque. Esta evaluación puede variar desde componentes individuales, subsistemas o al sistema entero. Sin embargo, aunque los modelos hechos en computadora son cada vez más aceptados y confiables en el proceso de desarrollo y ensayo, su efectividad aún depende de la experiencia de aquél que construye los modelos. Además, sin el extenso análisis de los parámetros de entrada en el programa de simulación, es imposible para otro grupo evaluar críticamente la precisión del modelo. Por lo tanto, en este momento, es una decisión apresurada el considerar remplazar los ensayos de choque con los modelos hechos en computadora para evaluar el desempeño de impacto de los sistemas de seguridad en los costados de la carretera

1.8 ORGANIZACIÓN DEL MANUAL

El Capítulo 2 resalta las matrices de ensayo y las condiciones recomendadas para ensayar y evaluar diversos sistemas de seguridad. También presenta las tolerancias para condiciones de impacto recomendadas y los procedimientos a efectos de identificar el punto de impacto crítico para ciertos sistemas.

El Capítulo 3 describe los requisitos para la construcción de instalaciones de ensayo, incluyendo condiciones y tipo de suelo.

El Capítulo 4 describe los vehículos de ensayo, especificaciones e instrumentos recomendados. También identifica los parámetros que deben ser medidos antes, durante y después de la prueba.

El Capítulo 5 presenta los criterios utilizados para evaluar los resultados.

El Capítulo 6 recomienda de qué manera el ensayo y sus resultados deben ser documentados.

El Capítulo 7 contiene las pautas sobre cómo se conduce la evaluación de desempeño de un sistema en servicio.

El Apéndice A comenta cuestiones de los Capítulos 1 a 7 y presenta una elaboración y discusión más profunda.

El Apéndice B presenta los procedimientos para validar y llevar a cabo el proceso de ensayo de suelo in situ.

El Apéndice C contiene especificaciones de instrumentos electrónicos y fotográficos, hechos con el permiso de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE).

El Apéndice D presenta un número de herramientas experimentales y analíticas.

El Apéndice E presenta técnicas para medir el compartimiento de los ocupantes, así como también la deformación del vehículo.

El Apéndice F presenta procedimientos de cálculo de la Velocidad de Impacto Teórica de la Cabeza (THIV), Desaceleración de la Cabeza después del Impacto (PHD) e Índice de Gravedad de la Aceleración (ASI).

El Apéndice H destaca un procedimiento para la re-evaluación y selección de nuevos vehículos de ensayo en respuesta a los cambios en la flota de vehículos.

Un glosario de términos y bibliografía concluye este documento.