

## Capítulo 2

# Condiciones y Matrices de Ensayo

### 2.1 GENERALIDADES

Para evaluar cada tipo de sistema de seguridad a los costados de la carretera se recomienda una serie de ensayos de impacto. El propósito de estos ensayos es proveer un nivel mínimo de desempeño para los sistemas de seguridad, así como también una base para comparar diferentes diseños dentro de cada tipo. Cada uno de los ensayos recomendados es diseñado para evaluar uno o más de los tres principales criterios de evaluación: Riesgo para los ocupantes, trayectoria del vehículo y estructura adecuada. Además, como ya fue mencionado previamente, las pautas para los ensayos de choque no incluyen todas las condiciones de impacto posibles que son experimentadas en el mundo real y no es práctico o factible realizar ensayos de todas las condiciones posibles de impacto. Sin embargo, si se identifica algún “margen de vulnerabilidad”, las matrices de ensayo deberían ser suplementadas para explorar condiciones de impacto adicionales.

Los parámetros primarios que definen un ensayo de choque en escala real incluyen velocidad de impacto, ángulo de impacto, masa de vehículo de ensayo y lugar de impacto. Cada uno de estos parámetros es elegido para representar la “condición práctica más desfavorable” para un choque contra un sistema de seguridad al costado de la carretera. Tradicionalmente, para la velocidad de impacto y ángulo, la “condición práctica más desfavorable” fue colocada al nivel del percentil 85. Los vehículos de ensayo se seleccionan habitualmente para representar un punto de impacto crítico (CIP) que crea la mayor posibilidad de fallo del ensayo. De ahí la creencia de por qué una combinación del percentil 85 de velocidad de impacto, percentil 85 de ángulo de impacto, percentil 5 y 95 de peso de vehículo y punto de impacto crítico respectivamente, representa la “condición práctica más desfavorable”.

Cabe mencionar que varios sistemas de seguridad, incluyendo terminales de barreras, amortiguadores de impacto y amortiguadores de impacto montados sobre camiones son diseñados para contener impactos de punta. Los ensayos de choque muestran que los impactos en un ángulo mayor sobre aquellos dispositivos dan como resultado heridas de menor gravedad que los impactos en un ángulo menor. Manteniendo el espíritu filosófico de la “condición práctica más desfavorable”, los ángulos de impacto para los ensayos de choque de estos dispositivos se establecieron debajo del percentil 85.

#### 2.1.1 CONDICIONES DE IMPACTO

La mejor información disponible de la reconstrucción de choques de automóviles por salida de vía en caminos de alta velocidad (85, 96) indica que la velocidad de impacto de 62 mph (100 km/h) y el ángulo de impacto de 25 grados se aproximan al percentil 85 de las respectivas condiciones de impacto en el mundo real. Por lo tanto, estos valores fueron seleccionados para representar las condiciones de impacto límites en las autopistas de gran volumen y velocidad. Para las carreteras tanto de baja velocidad como de bajo volumen, la velocidad de impacto apropiada fue reducida de 62 mph (100 km/h) a 44 mph (70 km/h) o 31 mph (50 km/h). En reconocimiento de las reducidas características de giro concernientes a los camiones grandes, los ángulos de impacto para todos los ensayos de camiones se redujeron a 15 grados. La velocidad de impacto de camionetas también se redujo a 56 mph (90 km/h), mientras que las características de camión semirremolque se redujeron a 50 mph (80 km/h) para compensar aún más la baja velocidad operativa y las capacidades reducidas relativas a los vehículos compuestos.

La selección del tipo, tamaño y peso del vehículo de ensayo puede tener un comportamiento significativo en la magnitud del impacto asociado con las pruebas de choque. Los vehículos livianos, tanto chicos como grandes, pueden tener un conjunto importante de desafíos para la mayoría de sistemas de seguridad en los costados de la carretera. La evaluación de la venta de vehículos en el año 2002 (159) revela que el peso de la mayoría de los vehículos livianos aumentó de manera significativa desde la última vez que se revisaron estas pautas (129). Para minimizar el aumento de peso, manteniendo el alto volumen de las ventas para asegurar la disponibilidad de los vehículos de ensayo, el vehículo de ensayo chico fue seleccionado para representar el 2do percentil del vehículo de pasajero más pesado (en lugar del tradicional 5to percentil) y la camioneta de ensayo fue seleccionada para representar el percentil 90 (en lugar del tradicional percentil 95) del vehículo de pasajero más pesado. Los vehículos de ensayo seleccionados son un sedán que pesa aproximadamente 2420lbs (1100 kg) para el vehículo de ensayo chico (designación 1100C) y una camioneta pickup de media tonelada con cuatro puertas y dos ruedas motrices, que pesa 5000lbs (2270 kg) para la camioneta de ensayo (designación 2270P). Un vehículo de ensayo alternativo, designado como 1500A, fue identificado para usarse en la evaluación del desempeño ante el impacto de los sistemas de absorción de energía en uso. El vehículo 1500A es un sedán de cuatro pasajeros que pesa aproximadamente 3300lbs (1500 kg). También se identificaron tres camiones de ensayo para la evaluación de las barreras de alto desempeño: un camión de unidad simple de 22.000lbs (10.000 kg), un camión tráiler con acoplado de 80.000lbs (36.000 kg) y un camión tanque de 80.000lbs (36.000). Estos vehículos fueron designados como 10000S, 36000V y 36000T respectivamente. En el Capítulo 4 se presentan especificaciones detalladas para los vehículos de ensayo.

Los lugares de impacto para la mayoría de los ensayos de choque se seleccionan para representar la condición crítica que llevaría al fallo del ensayo. Para las barreras longitudinales, los puntos de impacto crítico (CIP) se seleccionan para maximizar la carga de vehículos en las barreras de contención y la posibilidad de que se enganche una rueda o el embolsamiento de los vehículos. Cabe mencionar que cualquier conexión empalmada a ser utilizada en el campo debe ser testada en el sector crítico durante el ensayo de choque en escala real. Los puntos de impacto críticos para las barreras de postes y vigas y los amortiguadores de impacto se seleccionan para representar el punto en donde se cree que el sistema hace una transición en su comportamiento de traspasable a redirectivo. Las pautas generales para seleccionar la ubicación de CIP para cada clase de sistemas de seguridad están descritas en la sección 2.3. En la medida de lo posible, se les recomienda a los laboratorios de ensayo utilizar un método de análisis más detallado, como la simulación por computadora, para estimar la ubicación de los CIP para cada ensayo de choque en escala real. El procedimiento detallado para estimar la ubicación de los CIP para los dispositivos de seguridad en los costados de la carretera se presenta en otra parte (125) y no será reiterado en esta sección.

### **2.1.2 TOLERANCIAS EN CONDICIONES DE IMPACTO**

La mayoría de los laboratorios de ensayo usan remolques y sistemas de guías de cables para propulsar un vehículo hacia un dispositivo a ensayar. A pesar de que estos sistemas de guía y propulsión son razonablemente precisos, algunas variaciones modestas en la velocidad de impacto y ángulo no son poco comunes. Sin embargo, grandes desviaciones de las condiciones de impacto objetivas pueden alterar significativamente la severidad de un ensayo. Por lo tanto, se deben establecer límites razonables para ambos, velocidad de impacto y ángulo. Los laboratorios de ensayo demostraron la habilidad de controlar las velocidades de impacto dentro de un rango de  $\pm 2.5$  mph (4.0 km/h) de las condiciones especificadas y obtener los ángulos de impacto reales dentro de los 1.5 grados del valor deseado. Así, estos límites son seleccionados como la tolerancia máxima para velocidad de impacto y ángulo. Para los ensayos de choque con una velocidad especificada de 44 mph (70 km/h) o más, la

velocidad de impacto real no debería ser mayor de los 2.5 mph (4 km/h) por debajo de la velocidad de impacto deseada. Para las pruebas que involucran redireccionamiento de vehículos, el ángulo de impacto no debería estar más de 1.5 grados por debajo del valor objetivo. Las tolerancias para los ensayos de choque con una velocidad especificada menor de las 31 mph (50 km/h) se ven limitadas solamente por la energía cinética del vehículo descrita en los siguientes párrafos.

En algunas circunstancias, las barreras longitudinales (ej. Barreras de cable flexibles) pueden estar posicionadas dentro de una mediana inclinada, para proteger a los conductores de los obstáculos y/o prevenir choques por cruce de medianas. Para estas situaciones, las barreras longitudinales deberían ser probadas y evaluadas con las barreras instaladas en los terrenos con inclinaciones representativas. Cuando las barreras se colocan sobre terreno inclinado, como una baranda de cables flexible colocada sobre la zanja de una mediana, las condiciones de impacto especificadas (es decir, velocidad y ángulo) deben ser referenciadas al momento en el que el vehículo llega al primer punto de quiebre de pendiente (SBP). Para la mayoría de las barreras colocadas en la pendiente inicial de una cuneta de mediana, los vehículos impactarán en estas barreras con velocidades y ángulos similares a aquellos exhibidos del SBP, a excepción de los cambios de velocidad menores atribuidos a la resistencia aerodinámica y a la caída libre mientras se desplaza sobre las inclinaciones previas al contacto con la baranda. Para las barreras colocadas en la pendiente inversa de una cuneta de mediana, hay una posibilidad incrementada de desviaciones en el ángulo y velocidad de impacto del vehículo debido al contacto de vehículo-tierra mientras el vehículo viaja por el terreno previo al contacto con la baranda. Durante estos eventos, los laboratorios de ensayo deben documentar, en la mayor medida posible, las condiciones de impacto reales cuando el vehículo choca con la barrera.

La gravedad de un impacto normalmente se mide en términos de severidad de impacto (IS) para los ensayos que involucran redirección de vehículo; y energía cinética (KE) para los ensayos que involucran impactos de punta o dispositivos de quiebre o frangibles. IS, como se define en la Ecuación 2-1 demostró ser un buen indicador para la magnitud de carga sobre una baranda longitudinal.

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

Donde:

IS = severidad de impacto, kip-ft (kJ)

M = masa vehicular, lb (kg)

V = velocidad de impacto, ft/s (m/s)

$\theta$  = ángulo de impacto, grados

La energía cinética total del vehículo (KE), como se define en la Ecuación 2-2, es considerada una mejor forma de medir la severidad de los impactos tanto frontales como de punta, incluyendo ensayos de dispositivos de quiebre, amortiguadores de impacto, terminales y amortiguadores de impactos montados sobre camiones. Cabe destacar que KE también se usa como la medición de severidad de impactos oblicuos en el final de las terminales y en los amortiguadores de impacto.

$$KE = \frac{1}{2} MV^2 \quad (\text{Ecuación 2-2})$$

Donde:

KE = energía cinética, kip-ft (kJ)

Incluso cuando las velocidades de ensayo y ángulos de impacto están dentro de las tolerancias aceptables, los valores de IS o KE en un ensayo de choque pueden ser inaceptablemente bajos. Por esta razón, una condición limitante adicional se aplica a ambos valores para los ensayos de choque en escala real. El valor de IS para los ensayos que involucran redireccionamiento vehicular, y el valor de KE para los ensayos de alta velocidad que involucran impacto de punta no deben ser mayores al 8 por ciento por debajo de los valores deseados. Para la mayoría de los ensayos de choque en escala real, los ángulos y la velocidad excesiva de impacto no mejoran la probabilidad de una prueba exitosa. Por lo tanto, las velocidades excesivas y los ángulos no son considerados una causa por la cual el ensayo falló, siempre y cuando se cumplan todos los criterios de evaluación y desempeño. Las excepciones a esta regla general son los ensayos de baja velocidad, es decir, ensayos de 19 mph (30 km/h) para estructuras de soporte y dispositivos de control de tránsito en zona de obra, y los ensayos de 31 mph (50 km/h) para los postes frangibles. Dado que estas pruebas de baja velocidad intentan evaluar la energía cinética requerida para activar la ruptura, fractura o el mecanismo del dispositivo, es recomendable que el valor de KE no sea mayor al 20 por ciento por encima del valor deseado. Los ensayos que no caen en la gama de valores aceptables para la KE y la IS son considerados inválidos y deben repetirse. El rango de valores aceptables para la KE y la IS está indicado en las tablas de descripción para ensayos de choque en la Sección 2.2. Cabe aclarar que los valores límites de la KE y la IS son calculados en base a la masa inerte del vehículo de ensayo y excluyen el peso del lastre suelto o los *dummies* (maniqués utilizados en los ensayos de colisión de vehículos para comprobar la efectividad de los sistemas de seguridad) usados en el ensayo.

Aunque los vehículos de ensayo son seleccionados para tener la masa apropiada, es imposible ajustar el peso del vehículo para igualar exactamente los valores deseados. La masa de vehículo excesiva puede incrementar la carga de la baranda y posiblemente desestabilizar el vehículo. Por lo tanto, los límites altos y bajos fueron establecidos como la suma de masa estática vehicular, como se muestra en la Tabla 2-1. Nótese que para incrementar la masa del vehículo de ensayo puede ser incorporado un lastre, y algunos componentes pueden ser extraídos para reducir su masa. Los detalles del ajuste de masa vehicular se presentan en el Capítulo 4.

La ubicación de los sistemas de impacto normalmente se selecciona para maximizar el riesgo de un fallo. Obviamente, grandes errores en la ubicación del punto de impacto pueden afectar drásticamente el desempeño del dispositivo de seguridad. La mayoría de los sistemas de guiado de vehículo utilizados durante las pruebas de seguridad en los costados de la carretera tienen niveles limitados de precisión. Basado en una encuesta de los laboratorios de ensayo, se establecieron variaciones aceptables en la ubicación de impacto deseada: 12 pulgadas (300 mm) para los impactos laterales y 6 pulgadas (150 mm) para las colisiones frontales. En otras palabras, el valor máximo de tolerancia aceptable recomendado para el punto de impacto es  $\pm 12$  pulgadas (300 mm), medido sobre la baranda, para las pruebas de barreras longitudinales y costados de las terminales o amortiguadores de impacto. De manera similar, los vehículos de ensayo involucrados en los impactos frontales, incluyendo los ensayos de amortiguadores, terminales y estructuras de soporte, deben contactar el artículo de ensayo dentro de las  $\pm 6$  pulgadas (150 mm) del punto de impacto deseado medido sobre el frente del vehículo de ensayo. Los puntos de impacto recomendados para todas las pruebas se presentan en la Sección 2.3.

TABLA 2-1. Límite Inferior y Superior de la Masa Inerte de los Vehículos de Ensayo

Tipo y Designación de Vehículo de Ensayo	Peso de vehículo de ensayo, lb (kg)	Variación aceptable, lb (kg)
1100C (Automóvil pequeño)	2,420 (1,100)	±55 (25)
1500A (Automóvil mediano)	3,300 (1,500)	±220 (100)
2270P (Camioneta)	5,000 (2,270)	±110 (50)
10000S (Camión Simple)	22,000 (10,000)	±660 (300)
36000V (Semirremolque)	79,300 (36,000)	±1,100 (500)
36000T (Semirremolque tanque)	79,300 (36,000)	±1,100 (500)

### 2.1.3 ORIENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Las condiciones de las pruebas de choque descritas en este capítulo están relacionadas al alineamiento del camino. Debido a que los dispositivos de seguridad están normalmente diseñados para ser colocados paralelamente al camino, los ángulos de impacto del vehículo con relación a los dispositivos ya probados normalmente serán los mismos cuando se miden desde la línea del centro del sistema ya probado. Sin embargo, algunos tipos de dispositivos, como las barreras terminales abocinadas, están diseñados para ser colocados en un ángulo relativo al camino. Dado que los ángulos de impacto son medidos con relación al alineamiento del camino, los ángulos de impacto reales que fueron medidos con relación a la línea central del sistema de barreras terminales abocinadas y otros sistemas usualmente no instalados paralelamente al camino pueden llegar a ser mayores o menores a los valores mostrados en las siguientes secciones.

## 2.2 MATRICES DE ENSAYO

### 2.2.1 BARRERAS LONGITUDINALES

#### 2.2.1.1 Generalidades

Todas las barreras longitudinales, incluyendo las barreras ubicadas a los costados del camino, barandas de puente, barreras de medianas y barreras transitorias son diseñadas para contener, redirigir y proteger a los vehículos de los obstáculos en los costados del camino. Por lo tanto, las siguientes pautas de evaluación se aplican a todos los tipos de sistemas de defensa. Los sistemas de transición de barreras deben ser diseñados en conjunto con el desarrollo de dichas barandas. Por ello, como se muestra en la Tabla 2-2A, se recomienda una prueba de choque en escala completa para ambos, dentro de la longitud-necesaria (LON) y en la transición entre dos tipos de barreras diferentes. Se debe tener en cuenta que, cuando dos barreras adyacentes tienen diferente rigidez, el diseño de la transición usualmente incorpora dos cambios significativos en la rigidez, uno

desde la baranda más flexible a la sección de transición y otro desde la sección de transición a la baranda más rígida, ambas de las cuales pueden producir vuelco de vehículos, embolsamientos o ruptura de la viga (109). En esta clase de situación, se deben realizar ensayos de transición en ambos lugares, es decir, aguas arriba del extremo de la barrera más flexible y aguas arriba de la barrera más rígida.

Las barreras ubicadas al costado del camino generalmente son clasificadas, en base a su rigidez, en una de estas tres categorías: flexible, semi-rígida y rígida. Aunque la matriz de ensayos es la misma para las tres clasificaciones de barreras, deben darse algunas consideraciones al tipo de sistema al momento de construir la instalación de ensayo. Las variaciones en la altura durante la construcción pueden afectar adversamente el desempeño de la baranda. Es probable que el incremento de la altura montada afecte inversamente el desempeño de una baranda para los impactos de autos chicos, mientras que la altura reducida es probable que afecte el desempeño de la baranda para impactos de camiones livianos. Por lo tanto, para los sistemas de barreras con grandes variaciones permisibles en altura montada, los ensayos de autos pequeños deben realizarse con elementos de baranda de vigas instaladas con la máxima altura aceptable, mientras que las pruebas de camiones livianos deben realizarse con elementos de vigas con la mínima altura aceptable. Consultar a la sección 3.4.2 para especificaciones en los detalles de instalación de diversas barreras.

En el momento de proteger a los conductores de obstáculos en la mediana o en el costado del camino, quizá sea deseable o necesario instalar barreras longitudinales en las pendientes ubicadas al costado del camino o medianas. Por ejemplo, no es inusual que se coloque una baranda de cable flexible sobre una mediana deprimida. En estas circunstancias, los ensayos de choque a escala real también deben realizarse en barreras instaladas en o cerca de terreno inclinado, representativas de las condiciones de campo reales. Para llegar a este objetivo, se desarrollaron matrices de ensayo para evaluar barreras de cables colocadas sobre medianas deprimidas, específicamente, cunetas simétricas en forma de V. Si el ensayo y evaluación de las barreras de cable instaladas en cunetas en V resulta exitosa, esto debería permitir su colocación en otras configuraciones de cuneta menos críticas, como las medianas en escalera o en cunetas trapezoidales de fondo plano. Cabe notar que las matrices de ensayo fueron desarrolladas solo para las aplicaciones del Nivel de Ensayo 3 (TL-3). Si se desea un Nivel de Ensayo 4 (TL-4), se recomienda que cualquier ensayo de choque adicional hecha con un camión de unidad simple grande sea realizada con la baranda de cable instalada en un terreno relativamente plano. Estas matrices se desarrollaron principalmente sobre la base de los resultados de las investigaciones obtenidas de un estudio de trayectorias de vehículos simulados: automóviles pequeños, sedán de tamaño mediano y minibús o microomnibus de pasajeros en cunetas 4H: 1V y 6H: 1V, a una velocidad de 62 mph (100km/h), en un ángulo de 25 grados (95). Una mejora más profunda de las matrices de ensayo se produjo utilizando los resultados de ensayos de choque anteriores sobre barreras de cable colocadas en cunetas en V y contribuciones de los expertos en seguridad en las rutas y laboratorios de ensayos.

Para las cunetas en medianas de 4H:1V y 6H:1V, se proveen matrices de ensayo para evaluar: (1) un sistema de baranda de un solo cable colocado en cualquier parte dentro de una cuneta de medianas; (2) un sistema de baranda de un solo cable colocado entre 0 y 4 pies (1,20m) más allá del frente o la parte trasera del punto de quiebre de la pendiente (SBP); y (3) dos sistemas de barreras de cable (es decir, barreras de doble cable) colocadas dentro de una cuneta de mediana, cada una de ellas a una distancia de 0 a 4 pies (1,20m) del SBP. Para los sistemas de barreras de cable doble y simple ubicados a una distancia de 0 a 4 pies (1,20m) del punto de quiebre de pendiente (SBP), la matriz de ensayo es un subconjunto de la matriz desarrollada para la colocación de un sistema de baranda en cualquier parte dentro de la cuneta. La guía para determinar el subconjunto apropiado de ensayos de choque requeridas aparece debajo. Para las barreras de cable instaladas en las medianas inclinadas de 4H:1V, se recomienda una cuneta de 46 pies (13,80m) para el programa de pruebas de choque. Mientras que una cuneta de 30 pies (9,00m) es recomendada para evaluar las barreras de

cable instaladas en las medianas inclinadas de 6H:1V. Estos anchos fueron determinados en base a la trayectoria de vehículo y la cinemática a través de la cuneta derivados de las simulaciones dinámicas de vehículos y la experiencia de pruebas de choque. Debajo, se proveen más detalles para las barreras de cable instaladas en pendientes o cuneta. Las matrices de ensayo para las combinaciones elegidas de barreras-cunetas se resumen en las Tablas 2-2B hacia 2-2E. En las figuras 2-2A y 2-2B respectivamente, se provee la ubicación recomendada para el ensayo y evaluación de sistemas de barreras de cable en las cunetas en V de 4H:1V y 6H:1V.

#### ***2.2.1.2 Descripción de los Ensayos***

Estos procedimientos establecen un sistema de nominación de dos dígitos correlacionado con el NCHRP Report 350 (129) para los ensayos de choque en escala real. El primer dígito se usa para identificar el nivel de ensayo, seguido del segundo dígito que identifica el ensayo específico en la serie para cada tipo de dispositivo.

**TABLA 2-2A: Matriz de Ensayo Recomendada para Barreras Longitudinales**

Nivel de Ensayo	Sección de Baranda <sup>c</sup>	Nro de Ensayo	Vehículo	Velocidad de impacto, <sup>a</sup> mph (km/h)	Ángulo impacto, <sup>a</sup> $\theta$ , deg.	Punto de Impacto	Rango aceptable de IS, <sup>a</sup> kip-ft (kJ)	Criterio de evaluación <sup>b</sup>
1	Longitud-Necesaria	1-10	1100C	31 (50.0)	25	(c)	≥13 (17.4)	A,D,F,H,I
		1-11	2270P	31 (50.0)	25	(c)	≥27 (36.0)	A,D,F,H,I
	Transición	1-20 <sup>d</sup>	1100C	31 (50.0)	25	(c)	≥13 (17.4)	A,D,F,H,I
		1-21	2270P	31 (50.0)	25	(c)	≥27 (36.0)	A,D,F,H,I
2	Longitud-Necesaria	2-10	1100C	44 (70.0)	25	(c)	≥25 (34.2)	A,D,F,H,I
		2-11	2270P	44 (70.0)	25	(c)	≥52 (70.5)	A,D,F,H,I
	Transición	2-20 <sup>d</sup>	1100C	44 (70.0)	25	(c)	≥25 (34.2)	A,D,F,H,I
		2-21	2270P	44 (70.0)	25	(c)	≥52 (70.5)	A,D,F,H,I
3	Longitud-Necesaria	3-10	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		3-11	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
	Transición	3-20 <sup>d</sup>	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		3-21	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
4	Longitud-Necesaria	4-10	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		4-11	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
		4-12	10000S	56 (90.0)	15	(c)	≥142 (193)	A,D,G
	Transición	4-20 <sup>d</sup>	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		4-21	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
		4-22	10000S	56 (90.0)	15	(c)	≥142 (193)	A,D,G
5	Longitud-Necesaria	5-10	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		5-11	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
		5-12	36000V	50 (80.0)	15	(c)	≥404 (548)	A,D,G
	Transición	5-20 <sup>d</sup>	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		5-21	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
		5-22	36000V	50 (80.0)	15	(c)	≥404 (548)	A,D,G
6	Longitud-Necesaria	6-10	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		6-11	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
		6-12	36000T	50 (80.0)	15	(c)	≥404 (548)	A,D,G
	Transición	6-20 <sup>d</sup>	1100C	62 (100.0)	25	(c)	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
		6-21	2270P	62 (100.0)	25	(c)	≥106 (144)	A,D,F,H,I
		6-22	36000T	50 (80.0)	15	(c)	≥404 (548)	A,D,G

a Ver Sección 2.1.2 para la tolerancia de condiciones de impacto.

b Ver Tabla 5-1.

c Ver Figura 2-1 y Sección 2.3.2 para el punto de impacto.

d Este ensayo es opcional.



**TABLA 2-2B: Matriz de Ensayo Recomendada para Barreras Longitudinales para el Nivel de Ensayo 3 (TL-3) para las Barreras Simples de Medianas diseñadas para ser colocadas en cualquier sector del talud de la cuneta en V (4H:1V)**

Nro Designación del Ensayo	Tipo de Vehículo	Condiciones de Impacto		Ancho de Cuneta en V pies (m)	Posición Barrera	Ubicación de Barrera <sup>a</sup>	Punto de Impacto crítico	Rango aceptable de IS, <sup>b</sup> kip-ft (kJ)	Criterio de evaluación
		Vel, mph (km/h)	Ángulo (grados)						
3-10	1100C	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA <sup>d</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-11	2270P	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA <sup>d</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-13	2270P	62 (100)	25	46 (13,8)	Pendiente delantera	12 p (3,6m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-14	1100C	62 (100)	25	46 (13,8)	Pendiente delantera	12 p (3,6m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-15	1100C	62 (100)	25	46 (13,8)	Pendiente final	4 p (1,20m) desde el Fondo de la cuneta	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-16	1100C	62 (100)	25	46 (13,8)	Pendiente final	4 p (1,20m) delante del último SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-17	1500A	62 (100)	25	46 (13,8)	Pendiente delantera	Variable <sup>f</sup>	En el centro del vano	≥70 (95.1)	A,D,F,H,I
3-18	2270P	62 (100)	25	46 (13,8)	Pendiente final	8 p (2,40m) delante del último SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I

a Ver Figura 2-2A para la colocación de Barreras.

b Ver Sección 2.1.2 para la tolerancia de condiciones de impacto.

c Ver Tabla 5-1.

d No aplicable.

e Punto de quiebre de la Pendiente.

f El laboratorio de ensayos debe determinar la posición crítica de la barrera en la pendiente inicial de la cuneta para maximizar la propensión del extremo delantero del vehículo 1500A a penetrar entre los cables verticalmente adyacentes. Los factores críticos pueden incluir la separación vertical entre cables, la posición de los cables respecto al paragolpes delantero, la ubicación y el tipo de mecanismos de liberación de los cables, la trayectoria del paragolpes delantero del vehículo, etc.

**TABLA 2-2C: Matriz de Ensayo Recomendada para el Nivel de Ensayo 3 (TL-3) para las Barreras Dobles o Simples de Medianas diseñadas para ser colocadas en la pendiente descendente del talud de la cuneta en V (4H:1V), entre 0 y 4 p (0 y 1,20m) del Punto de Quiebre de la Pendiente (SBP)**

Nro Designación de Ensayo	Tipo de Vehículo	Condiciones de Impacto		Ancho de Cuneta en V Pies (m)	Posición de Barrera	Ubicación de Barrera <sup>a</sup>	Punto Crítico de Impacto	Rango aceptable de IS, <sup>b</sup> kip-ft (kJ)	Criterio de Evaluación <sup>c</sup>
		Vel, mph (km/h)	Ángulo (grados)						
3-10	1100C	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-11	2270P	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-13	2270P	62 (100)	25	46 (13,8)	Frente de la Pendiente	4 pies (1,20m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-14	1100C	62 (100)	25	46 (13,8)	Frente de la Pendiente	4 pies (1,20m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-15 <sup>f,g</sup>	1100C	62 (100)	25	46 (13,8)	Parte trasera de la Pendiente	4 pies (1,20m) desde el fondo de la Cuneta	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-16 <sup>g</sup>	1100C	62 (100)	25	46 (13,8)	Parte trasera de la Pendiente	4 pies (1,20m) delante del último SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-17	1500A	62 (100)	25	46 (13,8)	Frente de la Pendiente	Variable <sup>h</sup>	En el centro del vano	≥70 (95.1)	A,D,F,H,I
3-18 <sup>g</sup>	2270P	62 (100)	25	46 (13,8)	Parte trasera de la Pendiente	8 pies (2,40m) delante del último SBP <sup>i</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I

a Ver Figura 2 para la colocación de barreras.

b Ver Sección 2.1.2 para la tolerancia de condiciones de impacto.

c Ver Tabla 5-1.

d No aplicable.

e Punto de quiebre de la Pendiente.

f El Ensayo N°15 es innecesaria para las Cunetas en V mayores o iguales a los 26 pies, medidos delante del primer SBP hacia delante del último SBP.

g Los Ensayos N°15, 16, y 18 son innecesarios para los sistemas de barreras dobles de medianas colocadas dentro de la cuneta de la mediana, una en cada lado y con una distancia de 0 a 4 pies (1,20 m) de un SBP.

h El laboratorio de pruebas debe determinar la posición crítica de la barrera de 0 a 4 pies en la pendiente delantera de la cuneta para maximizar la propensión del extremo delantero del vehículo 1500A a penetrar entre los cables verticalmente adyacentes. Los factores críticos pueden incluir la separación vertical entre cables, la posición de los cables respecto al paragolpes delantero, la ubicación y el tipo de mecanismos de liberación de los cables, la trayectoria del paragolpes delantero del vehículo, etc.

i Una cuneta de 46 pies (13,8 m) de ancho fue seleccionada para simplificar la matriz de ensayo, resultando en una colocación más allá de la distancia de 0 a 4 pies (1,20 m). Sin embargo, las cunetas angostas proveen riesgos similares en el sobrepaso cuando la barrera fue colocada delante del último SBP.

**TABLA 2-2D: Matriz de ensayo Recomendada para las Barreras Simples de Medianas diseñadas para Colocarse en cualquier parte de una cuneta en V de 6H:1V**

Nro Designación de Ensayo	Tipo de Vehículo	Condiciones de Impacto		Ancho de Cuneta en V Pies (m)	Posición de Barrera	Ubicación de Barrera <sup>a</sup>	Punto Crítico de Impacto	Rango aceptable de IS, <sup>b</sup> kip-ft (kJ)	Criterio de Evaluación <sup>c</sup>
		Vel, mph (km/h)	Ángulo (grados)						
3-10	1100C	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA <sup>d</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-11	2270P	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA <sup>d</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-13	2270P	62 (100)	25	30 (9)	Frente de la Pendiente	9 pies (2,70m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-14	1100C	62 (100)	25	30 (9)	Frente de la Pendiente	9 pies (2,70m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-15 <sup>f,g</sup>	1100C	62 (100)	25	30 (9)	Parte trasera de la Pendiente	4 pies (1,20 m) desde el fondo de la Cuneta	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-16 <sup>g</sup>	1100C	62 (100)	25	30 (9)	Parte trasera de la Pendiente	1 pie (0,30m) del ante del último SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-17	1500A	62 (100)	25	30 (9)	Frente de la Pendiente	Variable <sup>f</sup>	En el centro del vano	≥70 (95.1)	A,D,F,H,I
3-18 <sup>g</sup>	2270P	62 (100)	25	30 (9)	Parte trasera de la Pendiente	Delante del Último SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I

a Ver Figura 2-2B para la colocación de barreras.

b Ver Sección 2.1.2 para la tolerancia de condiciones de impacto.

c Ver Tabla 5-1.

d No aplicable.

e Punto de quiebre de la Pendiente.

f El laboratorio de ensayos debe determinar la posición crítica de la barrera en la pendiente inicial de la cuneta para maximizar la propensión del extremo delantero del vehículo 1500A a penetrar entre los cables verticalmente adyacentes. Los factores críticos pueden incluir la separación vertical entre cables, la posición de los cables respecto al paragolpes delantero, la ubicación y el tipo de mecanismos de liberación de los cables, la trayectoria del paragolpes delantero del vehículo, etc.

**TABLA 2-2E: Matriz de Ensayo Recomendada para el Nivel de Ensayo 3 (TL-3) para las Barreras Dobles o Simples de Medianas diseñadas para ser colocadas en la pendiente descendente del talud de la cuneta en V, entre 0 y 4 p (0 y 1,20m) del Punto de Quiebre de la Pendiente (SBP)**

Nro Designación de Ensayo	Tipo de Vehículo	Condiciones de Impacto		Ancho de Cuneta en V Pies (m)	Posición de Barrera	Ubicación de Barrera <sup>a</sup>	Punto Crítico de Impacto	Rango aceptable de IS, <sup>b</sup> kip-ft (kJ)	Criterio de Evaluación <sup>c</sup>
		Vel, mph (km/h)	Ángulo (grados)						
3-10	1100C	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA <sup>d</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-11	2270P	62 (100)	25	NA <sup>d</sup>	Terreno Nivelado	NA <sup>d</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-13	2270P	62 (100)	25	30 (9)	Pendiente Inicial	9 pies (2,70m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I
3-14	1100C	62 (100)	25	30 (9)	Pendiente Inicial	9 pies (2,70m) delante del primer SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-15 <sup>f,g</sup>	1100C	62 (100)	25	30 (9)	Pendiente Final	4 pies (1,20 m) desde el fondo de la Cuneta	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-16 <sup>g</sup>	1100C	62 (100)	25	30 (9)	Pendiente Final	1 pie (0,30m) delante del último SBP <sup>e</sup>	En el centro del vano	≥51 (69.7)	A,D,F,H,I
3-17	1500A	62 (100)	25	30 (9)	Pendiente Inicial	Variable <sup>f</sup>	En el centro del vano	≥70 (95.1)	A,D,F,H,I
3-18 <sup>g</sup>	2270P	62 (100)	25	30 (9)	Pendiente Final	Delante del Último SBP <sup>e</sup>	1 pie (0,30m) aguas arriba del poste	≥106 (144)	A,D,F,H,I

a Ver Figura 2-2B para la colocación de barreras.

b Ver Sección 2.1.2 para la tolerancia de condiciones de impacto.

c Ver Tabla 5-1.

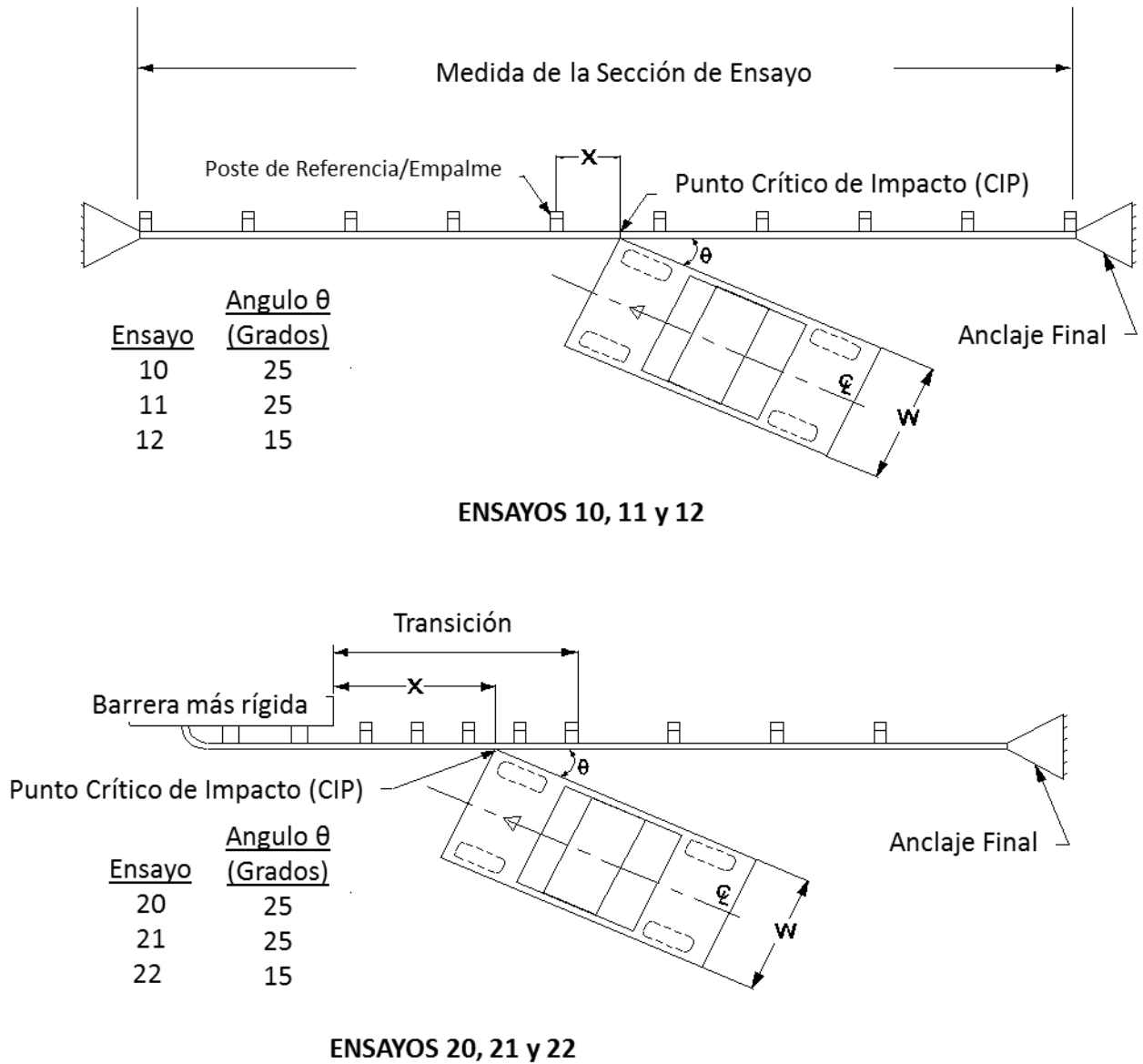
d No aplicable.

e Punto de quiebre de la Pendiente.

f El Ensayo N°15 es innecesaria para las cunetas en V mayores o iguales a 24 pies, medidos entre el primer y último SBP.

g Los Ensayos N°15, 16, y 18 son innecesarios para los sistemas de barreras dobles de medianas colocadas dentro de la cuneta de la mediana, una en cada lado y con una distancia de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) de un SBP.

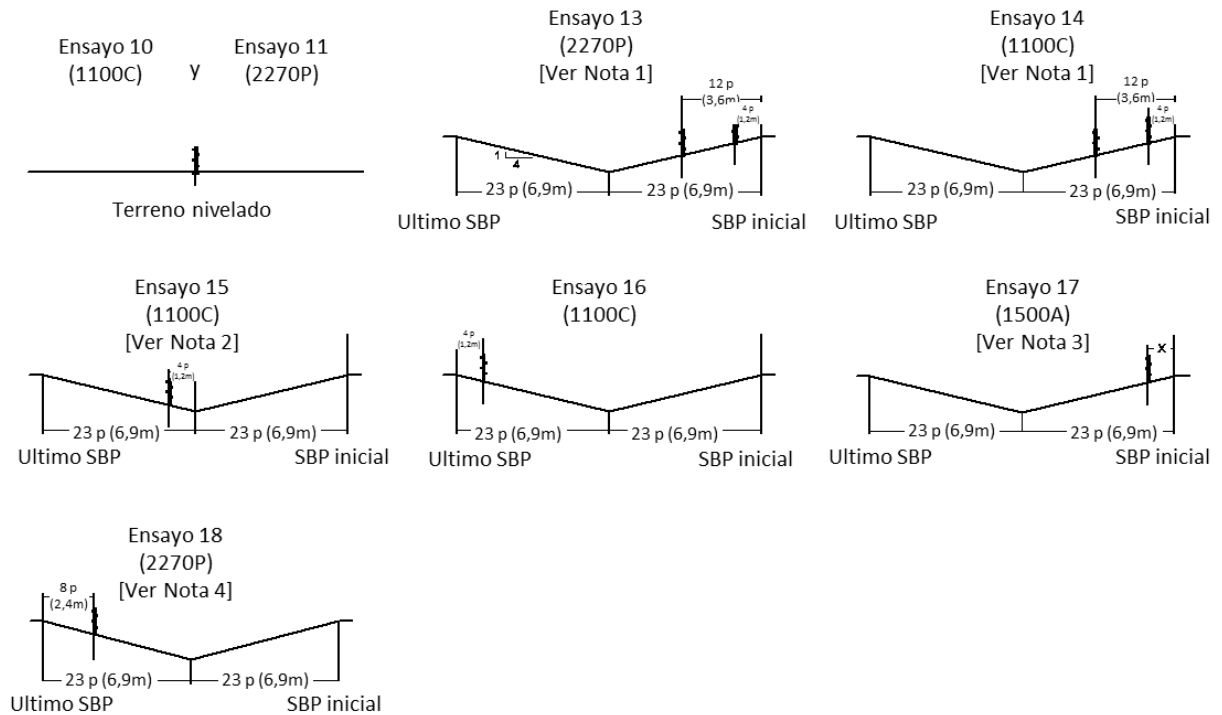
h El laboratorio de pruebas debe determinar la posición crítica de la barrera en la pendiente inicial de la cuneta para maximizar la propensión del extremo delantero del vehículo 1500A a penetrar entre los cables verticalmente adyacentes. Los factores críticos pueden incluir la separación vertical entre cables, la posición de los cables respecto al paragolpes delantero, la ubicación y el tipo de mecanismos de liberación de los cables, la trayectoria del paragolpes delantero del vehículo, etc.



- Notas:
1. Ver sección 2.3.2 para determinar "X".
  2. La tolerancia recomendada para X es  $\pm 30\text{cm}$ .
  3. Ver Sección 2.3.2 para las recomendaciones de puntos de impacto para barreras en Zona de Obra

**Figura 2-1: Condiciones de Impacto para los Ensayos de Barreras Longitudinales**

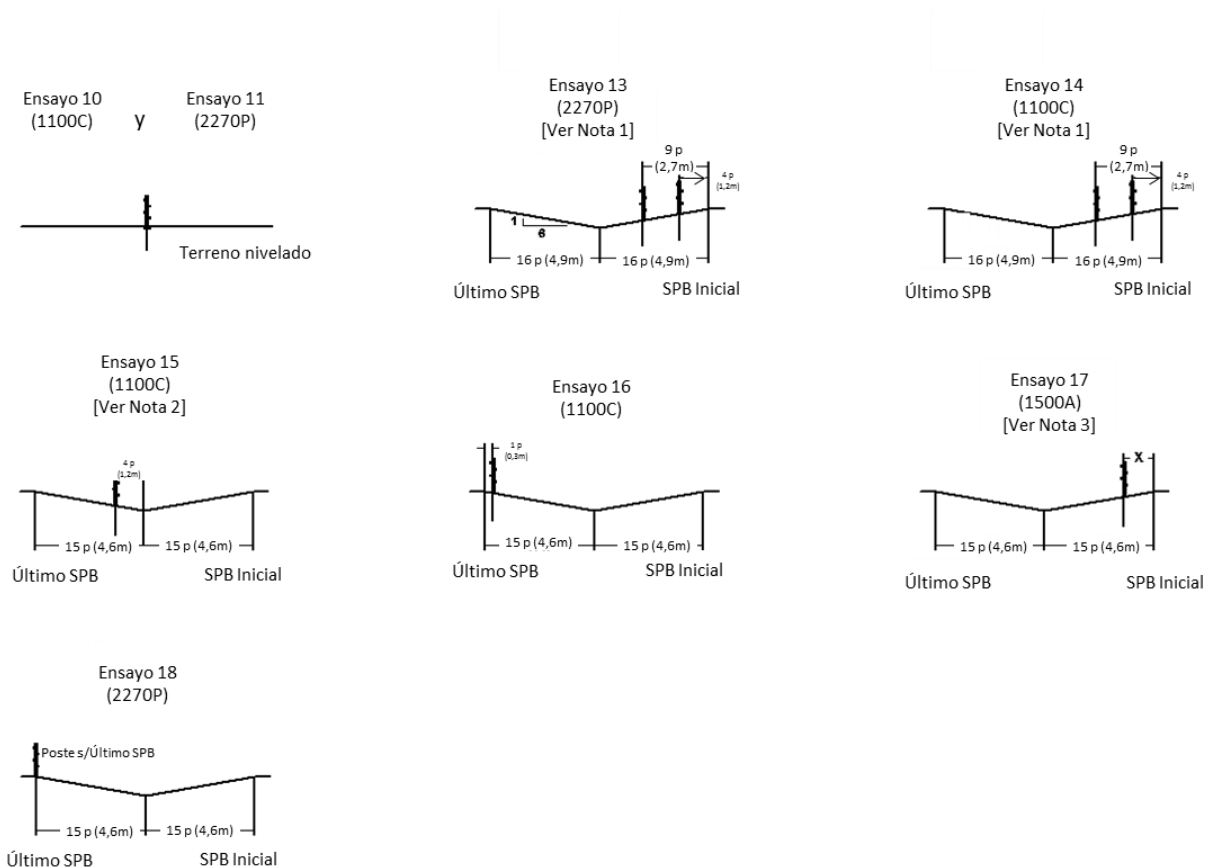
### Ubicación Crítica de la Barrera de Cables para la Cuneta en V de 4H:1V



- NOTAS:
1. Para la colocación de barreras en cualquier parte, usar un desplazamiento lateral de 12 pies. De otra forma, utilizar un desplazamiento lateral de 4 pies (1,20 m) para la colocación de la barrera de 0 a 4 pies (1,20 m) delante del primer SBP.
  2. Para la colocación de barreras dobles o simples de medianas de 0 a 4 pies (1,20 m) de distancia del SBP, el Ensayo 15 es innecesario para las cunetas en V mayores o iguales a los 26 pies (7,9m), medidos delante del primer SBP hasta el último SBP.
  3. Los laboratorios de pruebas deben determinar la posición crítica de la barrera de 0 a X en la inclinación inicial de la cuneta o en terrenos nivelados para maximizar la propensión de la parte delantera del vehículo 1500A para penetrar entre cables adyacentes. Los factores críticos pueden incluir el espaciado vertical entre cables, la posición de cables relativa al paragolpes frontal, ubicación y tipo de mecanismo de liberación de cables, trayectoria del paragolpes frontal del vehículo, etc..
  4. Una cuneta de 46 pies (13,8 m) de ancho se seleccionó para simplificar la matriz de ensayos, resultando así en la colocación de barreras más allá del rango de 0 a 4 pies (1,20 m). Sin embargo, el ancho de las cunetas más angostas provee riesgos similares de invalidación al instalarse una barrera delante del último SBP.

**Figura 2-2A: Ubicación Crítica de la Barrera de Cables para la Cuneta en V de 4H:1V**

## Ubicación Crítica de la Barrera de Cables para la Cuneta en V de 6H:1V



- NOTAS:
1. Para la colocación de barreras en cualquier parte, usar un desplazamiento lateral de 9 pies. De otra forma, utilizar un desplazamiento lateral de 4 pies (1,20 m) para la colocación de la barrera de 0 a 4 pies (1,20 m) delante del primer SBP.
  2. Para la colocación de barreras dobles o simples de medianas de 0 a 4 pies (1,20 m) de distancia del SBP, el Ensayo 15 es innecesario para las cunetas en V mayores o iguales a los 24 pies (7,3m), medidos delante del primer SBP hasta el último SBP.
  3. Los laboratorios de ensayo deben determinar la posición crítica de la barrera de 0 a X en la inclinación inicial de la cuneta o en terrenos nivelados para maximizar la propensión de la parte delantera del vehículo 1500A para penetrar entre cables adyacentes. Los factores críticos pueden incluir el espaciado vertical entre cables, la posición de cables relativa al paragolpes frontal, ubicación y tipo de mecanismo de liberación de cables, trayectoria del paragolpes frontal del vehículo, etc..

**Figura 2-2B: Ubicación Crítica de la Barrera de Cables para la Cuneta en V de 6H:1V**

### ENSAYO 10

El ensayo 10 fue diseñada para investigar la habilidad de una barrera para contener y redirigir exitosamente automóviles pequeños durante el impacto dentro de la longitud-necesaria. Para los estos vehículos, las preocupaciones principales son pasar por debajo, el vuelco, una rueda enganchada y el golpe de cabeza. Para las barreras de cables flexibles, las preocupaciones adicionales incluyen la interacción de cables con el pilar A (parte de la carrocería que vincula el techo del auto con el sector inferior; el Pilar A es el que soporta el parabrisas del coche a ambos lados) o el daño del mismo, los parabrisas y el techo. Para evaluar el alcance completo del desempeño de las barreras, las agencias de ensayo deben considerar instalar la barrera hasta la

altura máxima para los ensayos de autos pequeños. Esto es esencial especialmente para los sistemas de barreras de postes, maximizando así el riesgo de incrustación por debajo y ruedas enganchadas.

### **ENSAYO 11 y 21**

Los Ensayos 11 y 21 proveen la fuerza máxima para los niveles de ensayo 1 a 3 (TL1 a TL3) y verifican el desempeño de la barrera durante los impactos que involucran camiones livianos y vehículos todoterreno ligeros (SUV) para todos los niveles de ensayo. Debido a la alta frecuencia de vuelcos que se observan en las bases de datos de choques y durante los históricos ensayos de choque a escala real con camiones livianos de ensayo, los ensayos 11 y 21 son requeridos para todos los sistemas de barreras. Para las barreras de cables flexibles, las preocupaciones primarias incluyen la contención y estabilidad de vehículo, la integridad del pilar-A y el ancho de trabajo. Se requiere que estos ensayos cumplan con las medidas de riesgo para los ocupantes, incluyendo el límite de velocidad de impacto del ocupante (OIV) y los valores de aceleración de atropello (RA)

### **ENSAYO 20 (Opcional)**

El Ensayo 20 para una transición es una prueba opcional para evaluar el riesgo del ocupante y el criterio de trayectoria después del impacto para todos los niveles de ensayo. Debe ser llevada a cabo si hay una incertidumbre razonable que concierne al desempeño ante el impacto del sistema para impactos con pequeños automóviles.

### **ENSAYOS 12 y 22**

Los Ensayos 12 y 22 son realizados para los niveles de ensayo 4, 5 y 6 (TL4, TL5 y TL6). Estas pruebas están destinadas a evaluar la resistencia de la barrera para contener y redirigir camiones pesados.

### **ENSAYO 13**

El Ensayo 13 fue diseñado para evaluar la habilidad de una barrera de cable para contener y redirigir camiones livianos y SUV (vehículos todoterreno ligeros), como así también prevenir el ante posicionamiento de barrera dentro de la longitud-necesaria cuando se colocan en una inclinación de la carretera o en la pendiente inicial de una cuneta de mediana. El vehículo 2270P provee de una prueba crítica, debido a su gran momento de inercia, alta trayectoria del paragolpes con respecto a la superficie de la cuneta. Para las barreras de cables diseñadas para ser instaladas en cualquier parte de una cuneta de mediana, se colocan entre 12 y 9 pies (3,60 m y 2,70 m) a una distancia del primer de 46 pies (13,8m) del primer SBP de una cuneta en V de 4H:1V y del largo de 30 pies (9 m) de una cuneta en V de 6H:1V respectivamente. Para las barreras de cables diseñadas para usarse entre 0 y 4 pies (0 a 1,20 m) del punto de quiebre de la pendiente, será colocada a una distancia de 4 pies (1,20 m) del primer SBP de una cuneta de 4H:1V o una cuneta en V de 6H:1V.

### **ENSAYO 14**

El objetivo principal del Ensayo 14 es evaluar la habilidad de una barrera de cables para contener y redirigir automóviles chicos exitosamente, evitando inestabilidades vehiculares excesivas y/o vuelcos cuando se instala en una pendiente al costado de la carretera o el frente de la pendiente de una cuneta de mediana. El riesgo de vuelco puede ser agravado por varios factores, incluyendo: (1) rotaciones de balanceo y cabeceo inducidas al vehículo en el aire previo al contacto con la barrera de cables y (2) inestabilidades resultantes del contacto del vehículo con la barrera mientras se encuentra en el aire. Para las barreras de cable instaladas en cualquier parte dentro de una cuneta de mediana, se colocará a una distancia de 12 y 9 pies (3,60 m y 2,70 m) del primer SBP de una cuneta en V de 4H:1V y 6H:1V, respectivamente. Para las barreras de cables que planean usarse entre 0 y 4 pies (0 a 1,20 m) lejos del punto de quiebre de la pendiente, la barrera se coloca a una distancia de 4 pies (1,20 m) del primer SBP de la cuneta en V de 4H:1V o 6H:1V.



## ENSAYO 15

El Ensayo 15 fue diseñado para evaluar la habilidad de una barrera de cables para contener y redirigir automóviles pequeños, así como también prevenir incrustación vehicular, la penetración de componentes en el compartimiento del ocupante y las deformaciones excesivas del pilar-A, techo o parabrisas. Para las barreras de cables instaladas en cualquier parte dentro de una cuneta de mediana, la barrera se coloca a una distancia de 4 pies (1,20 m) por encima de la parte trasera de la pendiente desde el fondo de la cuneta en V de 4H:1V o 6H:1V. Para las barreras de cables que pretenden usarse a una distancia de 0 y 4 pies (0 a 1,20 m) lejos del punto de quiebre de la pendiente, el Ensayo 15 no es requerido para las cunetas en V de 4H:1V y 6H:1V mayores o iguales a 26 o 24 pies (7,80 m o 7,20 m) de ancho, medidos del primer SBP al último SBP respectivamente. Si el Ensayo 15 es requerido para las barreras de cables que pretenden usarse a una distancia de 0 y 4 pies (0 a 1,20 m) lejos del punto de quiebre de la pendiente debido a la probabilidad de instalación dentro de cunetas en V angostas, se recomienda que la prueba se lleve a cabo utilizando las pautas previstas para barreras instaladas en cualquier parte dentro de una cuneta de la mediana.

Además, el Ensayo 15 no es requerido para evaluar un sistema de barrera de cable doble que contiene una barrera colocada en cada lado de una cuneta de mediana, cada una con una distancia de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) de distancia de cada SBP.

## ENSAYO 16

El Ensayo 16 está diseñado para evaluar la habilidad de una barrera de cables para contener y redirigir automóviles pequeños de manera segura, después de pasar por el centro de una cuneta y subir la pendiente final. Durante las pruebas anteriores de choques en escala real de sistemas de barreras de cables colocadas en la parte final de la pendiente de una cuneta en V, los automóviles pequeños demostraron tendencias de lograr un incremento de ángulo de impacto, adquirir velocidad al virar o rebotar de la superficie de la cuneta y volar. Este comportamiento de vehículo puede llevar a un incremento de propensión en la deformación y penetración del habitáculo, inestabilidad vehicular, vuelcos y/o pasar por encima de la barrera. Para las cunetas en V de 4H:1V, la barrera de cables debe ser colocada a una distancia de 4 pies (1,20 m) lejos del último SBP tanto para una barrera diseñada para colocarse en cualquier parte de la cuneta como para una barrera prevista para colocarse a una distancia de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) del SBP. Para las cunetas en V de 6H:1V, la barrera de cables se coloca a una distancia de 1 pie (0,30 m) del último SBP tanto para una barrera diseñada para colocarse en cualquier parte de la cuneta como para una barrera prevista para colocarse a una distancia de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) del SBP. El Ensayo 16 no es requerido para evaluar un sistema de barrera de cables doble diseñado para tener una instalación de barrera de cable separada en cada lado de la cuneta colocada de 0 a 4 pies (0 a 1,20m) de distancia de cada SPB.

## ENSAYO 17

El Ensayo 17 fue diseñado para evaluar la habilidad de una barrera de cables para contener y redirigir los automóviles medianos previniendo la penetración vehicular a través de cables verticalmente adyacentes. Aunque la penetración del vehículo a través de la barrera es la preocupación principal, esta prueba también evalúa el riesgo asociado con la penetración de componentes en el compartimiento del ocupante y las deformaciones excesivas del pilar-A, el parabrisas y el techo. Para el Ensayo 17 y, como lo determine el laboratorio de ensayos, la colocación de la barrera crítica ocurrirá en la pendiente inicial y medirá entre los 0 pies (es decir, el primer SBP) y algún desplazamiento lateral apartado del primer SBP. Para las barreras de cable instaladas en terreno mayormente nivelado o adyacente a pendientes empinadas (es decir, más empinadas que 3H: 1V), se recomienda el Ensayo 17 para evaluar el riesgo de automóviles de penetrar entre cables, dependiendo en la configuración de la barrera (en otras palabras, espacio entre cables, altura de los cables, etc.).

La colocación crítica de las barreras considerará las geometrías de la barrera y el vehículo y maximizará la propensión de la parte delantera del vehículo 1500A para penetrar entre cables adyacentes. El objetivo es posicionar el paragolpes delantero entre los cables adyacentes con el mayor espaciado entre cables al momento del impacto. Si varios espaciados entre cables tienen un espaciamiento vertical máximo similar, el menor de este grupo debe enfocarse en maximizar el número de cables potencialmente en contacto con el pilar-A, parabrisas y techo durante el impacto.

## **ENSAYO 18**

El Ensayo 18 fue diseñado para evaluar la habilidad de una barrera de cables para contener y redirigir camiones livianos y vehículos todoterreno ligeros (SUV) después de viajar por el centro de una cuenta y ascender por la pendiente final de manera segura. En pruebas anteriores de choque en escala real de sistemas de barreras de cables colocados en la parte final de la pendiente de una cuneta en V, los automóviles chicos demostraron tendencias de lograr un incremento de ángulo de impacto, adquirir velocidad al virar o rebotar sobre la superficie de la cuneta y volar. Este comportamiento de vehículo puede llevar a un incremento de propensión en la deformación y penetración del habitáculo, inestabilidad vehicular, vuelcos y/o pasar por encima de la barrera. Para las cunetas en V de 4H:1V, la barrera de cables debe ser colocada a 4 pies (1,20 m) del último SBP tanto para una barrera diseñada para colocarse en cualquier parte de la cuneta como para una barrera prevista para colocarse a una distancia de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) del SBP. Para las cunetas en V de 6H:1V, la barrera de cables se coloca a 1 pie lejos del SBP trasero tanto para una barrera diseñada para colocarse en cualquier parte de la cuneta como para una barrera prevista para colocarse a una distancia de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) del SBP. El Ensayo 18 no es requerido para evaluar un sistema de barrera de cables doble diseñada con una instalación de barrera de cable separada en cada costado de la cuneta, situado de 0 a 4 pies (0 a 1,20 m) de distancia de cada SBP.

La Figura 2-1 demuestra las condiciones de impacto para los Ensayos 10, 11, 12, 20, 21 y 22. Como se muestra en esta figura, los puntos de impacto críticos se miden a partir de un potencial enganche o localización de fractura, así como también para maximizar la propensión de pasar por debajo o por encima de la barrera o penetración de barreras flexibles, tales como las barreras de cables instaladas en una inclinación al costado de la carretera o en una cuenta de medianas. En esta situación, las agencias de ensayos deben considerar una evaluación de cada una de las ubicaciones para verificar el desempeño de barrera aceptable. Las ubicaciones críticas de impacto para cada clase de sistema de seguridad estén definidas en la Sección 2.3

## **2.2.2 TERMINALES Y AMORTIGUADORES**

### **2.2.2.1 Generalidades**

Las terminales y los amortiguadores redirectivos cumplen funciones similares. Las terminales están diseñadas para reducir la severidad de los impactos en el extremo de una barrera longitudinal y funcionan como una barrera redirectiva al momento del impacto en uno de los costados. De manera similar, los amortiguadores redirectivos están diseñados para reducir la severidad de los impactos frontales contra un objeto inamovible y funcionan como una barrera longitudinal durante el impacto en los costados del dispositivo. Sin embargo, aunque las terminales y los amortiguadores redirectivos se ubican en la misma categoría y son sujetos al mismo conjunto de ensayos de choque a escala real, hay algunas diferencias en el criterio de evaluación que las agencias viales deben considerar.

Estas diferencias surgen principalmente debido a la clasificación de amortiguadores como traspasables o no traspasables. Los amortiguadores traspasables están diseñados para permitir el paso seguro de los vehículos que impactan contra el inicio o nariz del sistema y pasar por detrás del amortiguador. Los amortiguadores no traspasables están diseñados para capturar casi todos los vehículos que impactan contra el extremo del dispositivo y desacelerarlos hacia una detención en forma segura. Un amortiguador no traspasable debe capturar los vehículos que impactan durante los ensayos angulares en el extremo del sistema.

Los amortiguadores no redirectivos son diseñados para acomodar la mayoría de los vehículos que impactan contra el frente del amortiguador de forma segura, pero no tienen la capacidad de redirigir los vehículos que impactan contra la parte trasera del dispositivo. Como resultado, la mayoría de los amortiguadores no redirectivos están diseñados para ser más amplios que el peligro del cual se quiere proteger a los usuarios y, típicamente, se utilizan lejos del tránsito donde el riesgo de alta energía de impacto cerca de la parte trasera es bajo. Queda bajo la responsabilidad de las agencias viales de determinar dónde se aplican los dispositivos de seguridad nombrados en este documento, incluyendo los amortiguadores redirectivos y no redirectivos.

Las compuertas de tránsito atenuadoras de impacto, conocidas como puertas de resistencia, están comenzando a ser colocadas frente a los puentes levadizos, en los cruces ferroviarios a nivel u otras ubicaciones donde la penetración del dispositivo puede llevar a un alto riesgo de choque grave. Dado que están diseñadas para disminuir impactos frontales y carecen de la capacidad de redirigir, las puertas de resistencia son consideradas un subconjunto de los amortiguadores no redirectivos. Los sistemas de puertas de resistencia son diseñados para bloquear el ancho de las áreas en las ubicaciones donde son empleadas. Como resultado, la mayoría de los impactos involucran vehículos impactando la puerta en ángulos cercanos a los 90 grados. Se cree que las reducciones menores en el ángulo de impacto de 90 a 75 grados no incrementan la probabilidad de un fallo en el ensayo. Por lo tanto, las puertas atenuantes de impacto no están sujetas a los ensayos de choque frontal de ángulo bajo incluidas en la matriz de ensayos para los amortiguadores no redirectivos. Además, las puertas atenuantes de impacto no pueden ser golpeadas en el costado del sistema y, por consiguiente, el ensayo de choque en el costado del amortiguador no redirectivo no se aplica. De esta manera, las puertas atenuantes de impacto necesitan estar verificadas con los Ensayos 40 y 41. Se creen que los diseños existentes tienen solamente una etapa de atenuación y, por lo tanto, el Ensayo 45 normalmente no es necesario. Además, se recomienda que los puntos de impacto de todos los ensayos se produzcan en el cuarto punto a lo largo del sistema. Este punto de impacto debe explorar una carga asimétrica del sistema de atenuación y ser representativo de las condiciones de impacto típicas para el diseño de una puerta de dos carriles.

Algunas barreras longitudinales, como las barreras de cables flexibles o las barreras de concreto de mediana, pueden ser instaladas en cunetas de relleno al costado de la carretera o dentro de las cunetas de la mediana. Sin embargo, la terminación de estos sistemas ocurre en general en terrenos planos. En consecuencia, los ensayos de choque y evaluación del tratamiento final de estos sistemas, como los amortiguadores o las terminales de barandas, continuarán su desarrollo con esos sistemas instalados en terrenos planos y nivelados a menos que nuevos informes sugieran que se requiere un cambio en el proceso para representar las condiciones de campo reales.

En la Tabla 2-3 se presentan los ensayos recomendados para evaluar el desempeño ante el impacto de las terminales y amortiguadores. La figura 2-3A presenta las condiciones de impacto para las terminales y amortiguadores redirectivos, mientras que la Figura 2-3B presenta las condiciones para los amortiguadores no redirectivos. Estas pautas son aplicables para ambos dispositivos, permanentes y temporales utilizados en la zona de construcción. El Glosario hace referencia a las definiciones de estos dispositivos.

TABLA 2-3. Matrices de Ensayo Recomendadas para Terminales y Amortiguadores

Nivel de Ensayo	Dispositivo	Tipo de Dispositivo <sup>a</sup>	Nro de Ensayo.	Vehículo	Velocidad de Impacto, <sup>b</sup> mph (km/h)	Ángulo de Impacto, <sup>b</sup> $\theta$ , grados	Tolerancias de Impacto		Punto de Impacto	Criterio de Evaluación <sup>c</sup>	
							Medida <sup>d</sup>	Rango Aceptable, kip-ft (kJ)		Traspasable	No traspasable
1	Terminales y Amortiguadores redirectivos	G/NG	1-30	1100C	31 (50.0)	0	KE	$\geq 72$ (97.4)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	1-31	2270P	31 (50.0)	0	KE	$\geq 148$ (202.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	1-32	1100C	31 (50.0)	5–15	KE	$\geq 72$ (97.4)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	1-33	2270P	31 (50.0)	5–15	KE	$\geq 148$ (202.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	1-34	1100C	31 (50.0)	15	IS	$\geq 5$ (6.5)	(e,g)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	1-35	2270P	31 (50.0)	25	IS	$\geq 27$ (36.0)	(e)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	1-36	2270P	31 (50.0)	25	IS	$\geq 27$ (36.0)	(e,g)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	1-37a	2270P	31 (50.0)	25	IS	$\geq 27$ (36.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
			1-37b	1100C				$\geq 13$ (17.4)			
		G/NG	1-38	1500A	31 (50.0)	0	KE	$\geq 98$ (133.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
	Amortiguadores No redirectivos	G	1-40	1100C	31 (50.0)	0	KE	$\geq 26$ (35.6)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	1-41	2270P	31 (50.0)	0	KE	$\geq 54$ (73.5)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	1-42	1100C	31 (50.0)	5–15	KE	$\geq 116$ (158.0)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	1-43	2270P	31 (50.0)	5–15	KE	$\geq 26$ (35.6)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	1-44	2270P	31 (50.0)	20	KE	$\geq 54$ (73.5)	(f)	C,D,F,N	
		G	1-45	1500A	31 (50.0)	0	KE	$\geq 98$ (133.0)	(f)	C,D,F,H,I,N	

a G/NG—Ensayo aplicable a los dispositivos sin apertura y cierre. G—Ensayo aplicable a los sistemas con apertura y cierre.

b Ver Sección 2.1.2 for tolerances on impact conditions.

c Ver Tabla 5-1.

d Ver Ecuaciones 2-1 and 2-2.

e Ver Figura 2-3A para el punto de impacto.

f Ver Figura 2-3B para el punto de impacto.

g Ver Sección 2.3.3 para el punto de impacto.

TABLA 2-3. Matrices de Ensayo Recomendadas para Terminales y Amortiguadores (continuación)

Nivel de Ensayo	Dispositivo	Tipo de Dispositivo <sup>a</sup>	Nro de Ensayo.	Vehículo	Velocidad de Impacto, <sup>b</sup> mph (km/h)	Ángulo de Impacto, <sup>b</sup> $\theta$ , grados	Tolerancias de Impacto		Punto de Impacto	Criterio de Evaluación <sup>c</sup>	
							Medida <sup>d</sup>	Rango Aceptable, kip-ft (kJ)		Traspasable	No traspasable
2	Terminal es y Amortiguadores redirectivos	G/NG	2-30	1100C	44 (70.0)	0	KE	$\geq 141$ (191.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	2-31	2270P	44 (70.0)	0	KE	$\geq 291$ (395.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	2-32	1100C	44 (70.0)	5–15	KE	$\geq 141$ (191.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	2-33	2270P	44 (70.0)	5–15	KE	$\geq 291$ (395.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	2-34	1100C	44 (70.0)	15	IS	$\geq 9$ (12.8)	(e,g)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	2-35	2270P	44 (70.0)	25	IS	$\geq 52$ (70.5)	(e)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	2-36	2270P	44 (70.0)	25	IS	$\geq 52$ (70.5)	(e,g)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	2-37a	2270P	44 (70.0)	25	IS	$\geq 52$ (70.5)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
			2-37b	1100C				$\geq 25$ (34.2)			
		G/NG	2-38	1500A	44 (70.0)	0	KE	$\geq 192$ (261.0)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
	Amortiguadores No redirectivos	G	2-40	1100C	44 (70.0)	0	KE	$\geq 51$ (69.7)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	2-41	2270P	44 (70.0)	0	KE	$\geq 106$ (144.0)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	2-42	1100C	44 (70.0)	5–15	KE	$\geq 228$ (309.0)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	2-43	2270P	44 (70.0)	5–15	KE	$\geq 51$ (69.7)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	2-44	2270P	44 (70.0)	20	KE	$\geq 106$ (144.0)	(f)	C,D,F,N	
		G	2-45	1500A	44 (70.0)	0	KE	$\geq 192$ (261.0)	(f)	C,D,F,H,I,N	

a G/NG—Ensayo aplicable a los dispositivos sin apertura y cierre. G—Ensayo aplicable a los sistemas con apertura y cierre.

b Ver Sección 2.1.2 for tolerances on impact conditions.

c Ver Tabla 5-1.

d Ver Ecuaciones 2-1 and 2-2.

e Ver Figura 2-3A para el punto de impacto.

f Ver Figura 2-3B para el punto de impacto.

g Ver Sección 2.3.3 para el punto de impacto.

TABLA 2-3. Matrices de Ensayo Recomendadas para Terminales y Amortiguadores (continuación)

Nivel de Ensayo	Dispositivo	Tipo de Dispositivo <sup>a</sup>	Nro de Ensayo	Vehículo	Velocidad de Impacto, <sup>b</sup> mph (km/h)	Ángulo de Impacto, <sup>b</sup> $\theta$ , grados	Tolerancias de Impacto		Punto de Impacto	Criterio de Evaluación <sup>c</sup>	
							Medida <sup>d</sup>	Rango Aceptable, kip-ft (kJ)		Traspasable	No traspasable
3	Terminales y Amortiguadores redireccionados	G/NG	3-30	1100C	62 (100.0)	0	KE	$\geq 288$ (390)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-31	2270P	62 (100.0)	0	KE	$\geq 594$ (806)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-32	1100C	62 (100.0)	5-15	KE	$\geq 288$ (390)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-33	2270P	62 (100.0)	5-15	KE	$\geq 594$ (806)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-34	1100C	62 (100.0)	15	IS	$\geq 19$ (26)	(e,g)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
		G/NG	3-35	2270P	62 (100.0)	25	IS	$\geq 106$ (144)	(e)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	3-36	2270P	62 (100.0)	25	IS	$\geq 106$ (144)	(e,g)	A,D,F,H,I	A,D,F,H,I
		G/NG	3-37a	2270P	62 (100.0)	25	IS	$\geq 106$ (144)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
			3-37b	1100C				$\geq 51$ (69.7)			
		G/NG	3-38	1500A	62 (100.0)	0	KE	$\geq 392$ (532)	(e)	C,D,F,H,I,N	A,D,F,H,I
	Amortiguadores No redireccionados	G	3-40	1100C	62 (100.0)	0	KE	$\geq 105$ (142)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	3-41	2270P	62 (100.0)	0	KE	$\geq 216$ (294)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	3-42	1100C	62 (100.0)	5-15	KE	$\geq 465$ (631)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	3-43	2270P	62 (100.0)	5-15	KE	$\geq 105$ (142)	(f)	C,D,F,H,I,N	
		G	3-44	2270P	62 (100.0)	20	KE	$\geq 216$ (294)	(f)	C,D,F,N	
		G	3-45	1500A	62 (100.0)	0	KE	$\geq 392$ (532)	(f)	C,D,F,H,I,N	

a G/NG—Ensayo aplicable a los dispositivos sin apertura y cierre. G—Ensayo aplicable a los sistemas con apertura y cierre.

b Ver Sección 2.1.2 for tolerances on impact conditions.

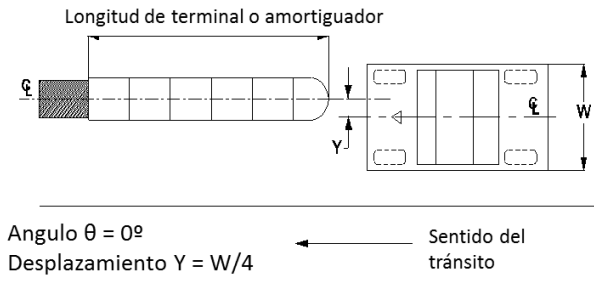
c Ver Tabla 5-1.

d Ver Ecuaciones 2-1 and 2-2.

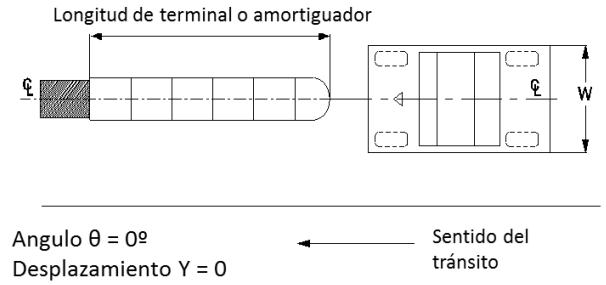
e Ver Figura 2-3A para el punto de impacto.

f Ver Figura 2-3B para el punto de impacto.

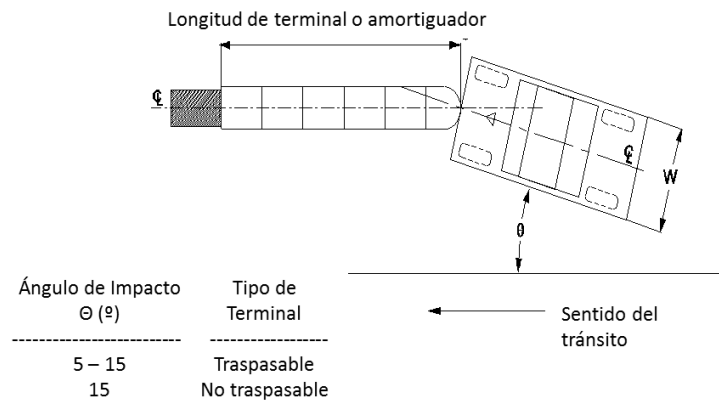
g Ver Sección 2.3.3 para el punto de impacto.



### ENSAYO 30

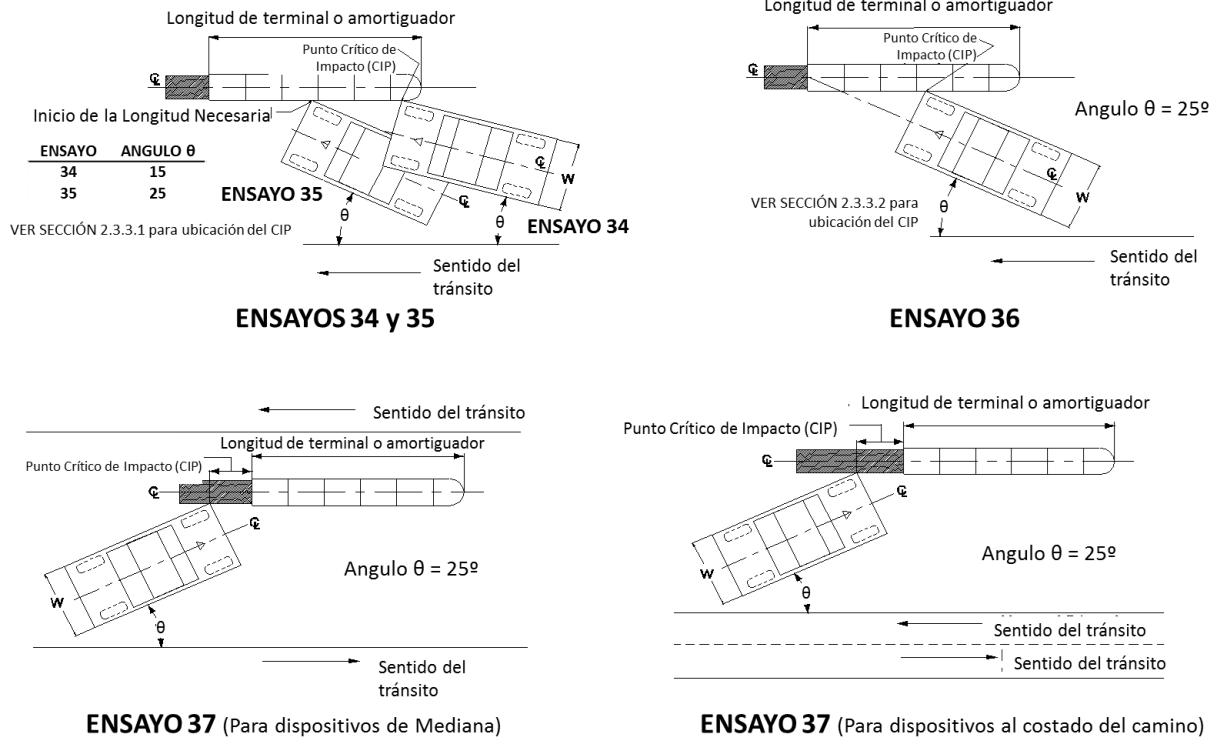


### ENSAYOS 31 y 38



### ENSAYOS 32 y 33

Figura 2-3A: Condiciones de Impacto para los Ensayos de las Terminales y Amortiguadores Redirectivos



**NOTA:** Tolerancia recomendada en el Punto de Impacto para todos los impactos de costado  $\pm 300\text{mm}$

**Figura 2-3A: Condiciones de Impacto para los ensayos de las Terminales y los Amortiguadores Redirectivos (continuación)**



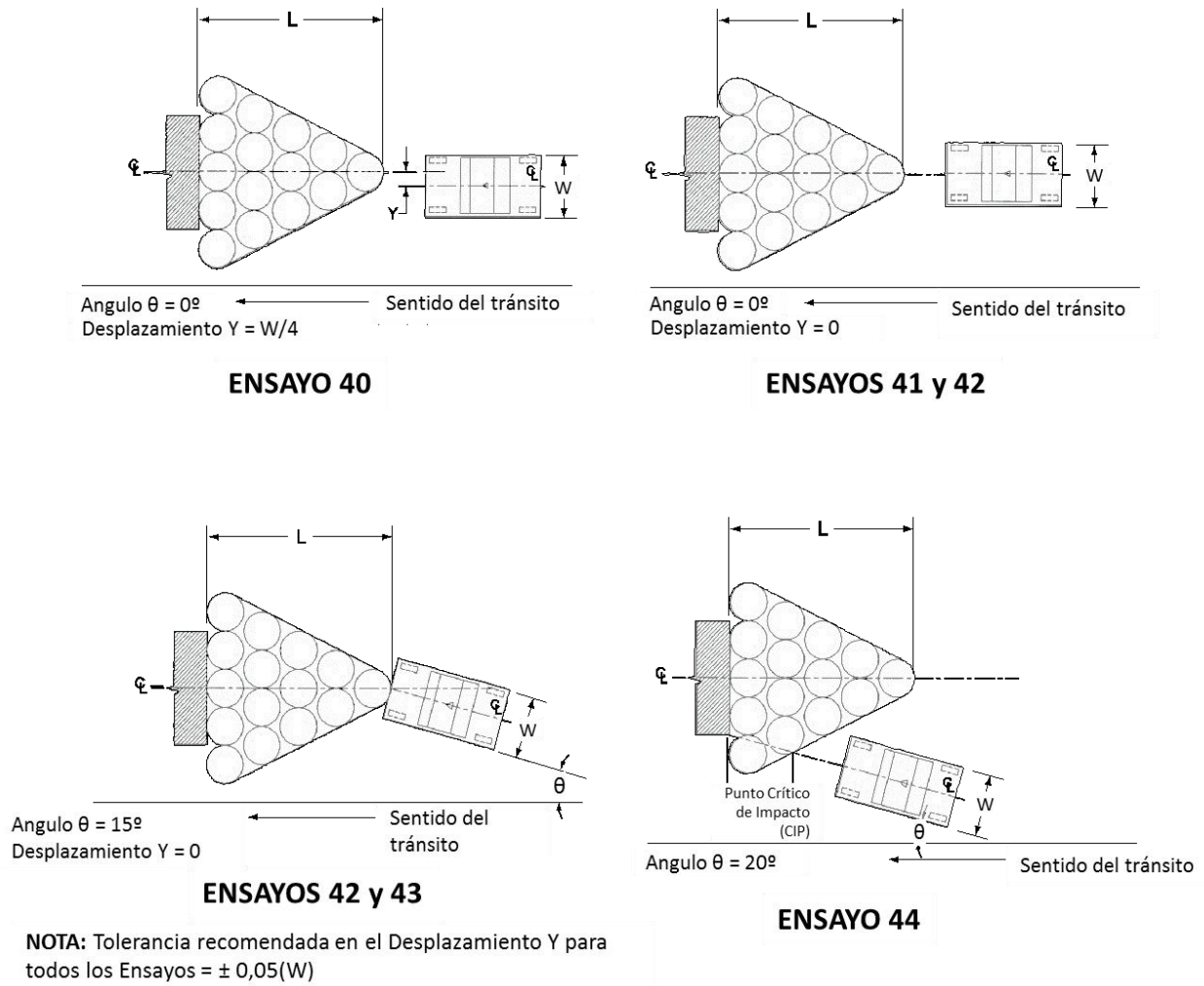


Figura 2-3B: Condiciones de impacto para los ensayos de Amortiguadores No-Redirectivos

### **2.2.2.2 Descripción de los Ensayos**

#### **ENSAYOS 30 y 40**

Los Ensayos 30 y 40 están diseñados para examinar el riesgo de inestabilidad vehicular, particularmente para las terminales angostas y sistemas de amortiguadores. Aunque los Ensayos 32 y 42 exhiben frecuentemente el criterio de alto riesgo del acompañante, el riesgo de inestabilidad vehicular es mayor para los Ensayos 30 y 40. Por lo tanto, los Ensayos 30 y 40 deben ser llevadas a cabo, incluso si un sistema pasó con éxito los Ensayos 32 o 42.

Estos ensayos se llevan a cabo con el vehículo viajando en paralelo a la carretera y el centro del vehículo con un desplazamiento de un cuarto de su ancho hacia la izquierda o derecha del centro del dispositivo de seguridad. Para el propósito de localizar el punto de impacto para estos ensayos, el centro de un dispositivo de seguridad como las terminales de barandas, debe definirse como el centro de resistencia para los impactos de punta, en vez del centro geométrico del sistema. Estas pruebas están diseñadas principalmente para evaluar el riesgo del acompañante y el criterio de trayectoria del vehículo. El desplazamiento del vehículo debe ser elegido para maximizar el riesgo excesivo del ocupante o inducir la inestabilidad vehicular. Se debe considerar la dirección de la rotación vehicular inducida por el vehículo desplazado como así también el potencial de interacción de la rueda con el riel u otros componentes de anclado que no se mueven cuando el sistema es golpeado. Para un terminal guardarraiel de vigas en W, el desplazamiento crítico del vehículo típicamente es hacia el lado del tránsito, ya que el contacto del vehículo con los postes de soporte en la parte final maximiza la rotación al virar y el riesgo de inestabilidad. La inclinación del vehículo hacia el lado del terreno puede ser considerada al momento de evaluar la estabilidad vehicular en terreno inclinado detrás de la terminal de guardarraiel. La ubicación del dummy, ya sea a derecha o izquierda, también debe ser seleccionada para maximizar el derrape o virado del vehículo. El riesgo de la inestabilidad vehicular a veces puede ser incrementado reduciendo el desplazamiento para, de alguna forma, permitir que las ruedas del vehículo hagan contacto con los componentes anclados debajo de la terminal de guardarraiel o amortiguador.

#### **ENSAYOS 31 y 41**

Para los dispositivos diseñados para desacelerar vehículos hasta detenerse por completo, estas pruebas tienen por objeto evaluar la capacidad del sistema de absorber la energía suficiente para detener el vehículo 2270P en una manera controlada y segura. Para los sistemas traspasables, estos ensayos están diseñadas para evaluar el riesgo del acompañante y criterio de trayectoria durante los impactos de frente de alta energía. Estos ensayos se llevan a cabo con el vehículo aproximándose en paralelo a la carretera, con el centro del vehículo alineado con la línea del centro de la terminal o amortiguador. Una vez más, la línea del centro del dispositivo es definida como el centro de resistencia durante los impactos en el final.

#### **ENSAYOS 32, 33, 42 y 43**

Estas pruebas están destinadas a examinar el comportamiento de terminales y amortiguadores durante los impactos oblicuos en el final o en la nariz del sistema. Para la mayoría de los dispositivos, el riesgo del acompañante y la trayectoria del vehículo son las principales preocupaciones. Cabe notar que los ángulos de impacto para estos ensayos deben ser seleccionados del rango mostrado en la Tabla 2-3 para que el riesgo de fallo sea maximizado. Los sistemas redirectivos no traspasables están diseñados para capturar vehículos impactando contra el final de un dispositivo con un ángulo. En este caso, el ángulo crítico de impacto se cree que es el que maximiza: la carga lateral en el dispositivo, el riesgo de que un vehículo atravesase el sistema y las

medidas de riesgo del acompañante. Por consiguiente, se recomienda que los sistemas redirectivos no traspasables sean evaluados en los 15 grados. Sin embargo, los sistemas redirectivos traspasables están diseñados para permitir que un vehículo penetre detrás del sistema y es probable que el incremento de la carga lateral del dispositivo acentúe el proceso de traspaso. Por lo tanto, las terminales redirectivas traspasables y los amortiguadores deben ser evaluados en menores ángulos de impactos, cercanos a un mínimo valor de 5 grados. El ángulo de impacto apropiado para usarse en las pruebas de amortiguadores no redirectivos es menos claro. El amortiguador debe ser analizado y los ángulos de impacto se seleccionan para maximizar la velocidad de impacto del acompañante (OIV) y la aceleración posterior al impacto (RA).

#### **ENSAYO 34**

El Ensayo 34 está destinada para evaluar el desempeño ante el impacto de las terminales y los amortiguadores en el punto crítico de impacto (CIP), donde el comportamiento de estos dispositivos cambia de traspasar o capturar a redirigir. Las preocupaciones primarias para esta prueba son la trayectoria de vehículo y el riesgo del ocupante. En la Sección 2.3.3.1 se presenta el criterio para seleccionar el CIP para la terminal de postes y vigas o sistemas de amortiguadores. Cuando sea práctico, se debe llevar a cabo un análisis de elementos finitos para identificar puntos críticos de impacto para los sistemas de postes y vigas, como así también para otras terminales y amortiguadores.

#### **ENSAYO 35**

El Ensayo 35 examina la capacidad de una terminal o amortiguador para contener y redirigir los vehículos pesados. Para esta prueba, un vehículo 2270P es dirigido hacia el sistema al comienzo de la longitud necesaria en un ángulo de impacto de 25 grados. Cabe notar que, para los amortiguadores no traspasables, el comienzo de la longitud necesaria debe ser muy cercano a la nariz del amortiguador. En este caso, el Ensayo 35 debe involucrar un vehículo impactando al final del sistema donde el comportamiento del atenuador cambia de capturar a redirigir. Por lo tanto, para los sistemas no traspasables, esta prueba es esencialmente un choque en el Punto Crítico de Impacto con un camión liviano como vehículo de ensayo.

#### **ENSAYO 36**

Este ensayo está diseñado para examinar el comportamiento de las terminales y amortiguadores redirectivos cuando se unen a barreras u otros sistemas rígidos. Para esta prueba, el vehículo de ensayo 2270P es dirigido hacia la terminal o amortiguador hacia su CIP con respecto a la transición de la estructura de respaldo. Cabe notar que algunas terminales, incluyendo la mayoría de las terminales de vigas en W, no están unidas directamente a una barrera rígida o estructura de respaldo. Las pautas generales para determinar las ubicaciones de los CIP para este ensayo están incluidas en la Sección 2.3.3.2. Cuando sea posible, se debe llevar a cabo un análisis de elementos finitos para determinar el CIP para el Ensayo 36.

#### **ENSAYO 37**

El Ensayo 37 examina el comportamiento de los amortiguadores y terminales durante los impactos en dirección inversa. Se recomienda esta prueba para cualquier sistema que será colocado dentro de la zona despejada del tránsito opuesto. Este ensayo involucra un vehículo 2270P o 1100C impactando contra el punto crítico de impacto (CIP) para los impactos en dirección opuesta. Las ubicaciones de los CIP para los impactos en esta dirección varían de un sistema a otro y aún debe desarrollarse un sistema generalizado para identificar estas ubicaciones. Cabe notar que las configuraciones mostradas en la Figura 2-3A para el Ensayo 37 están destinadas sólo para propósitos ilustrativos y no necesariamente reflejan la configuración de prueba real.

Para la mayoría de los amortiguadores con paneles de defensa apoyados contra el tránsito opuesto, el CIP debe ser seleccionado para maximizar el riesgo de enganche en el final del último panel de esta forma.

Muchos amortiguadores unidos a barreras de concreto incorporan una sección cónica o ahusada entre el amortiguador más ancho y la cara de la barrera más estrecha. En esta situación, el Ensayo 37 normalmente debe ser configurada para golpear la barrera primero o la sección cónica, para maximizar la posibilidad de un enganche de la rueda en el sistema. El 2270P generalmente debe ser el vehículo crítico para esta prueba al momento de evaluar un amortiguador.

Para las terminales de postes y vigas que utilizan un sistema de anclaje de cables, generalmente el 1100C debe ser el vehículo crítico para esta prueba y el punto de impacto debe ser seleccionado para maximizar el riesgo de que elementos del vehículo se enganchen en el cable de anclaje.

### **ENSAYOS 38 y 45**

Los Ensayos 38 y 45 están destinados a examinar el desempeño de amortiguadores y terminales durante los impactos con automóviles medianos. La preocupación es que la preparación del atenuador puede ser ajustada para satisfacer los requisitos de prueba de los autos pequeños y las camionetas pesadas sin acomodar adecuadamente los automóviles medianos. Para estas pruebas, la línea central de vehículo de ensayo está alineada con la línea central del artículo de prueba. Cabe notar que los ensayos 31 y 41 involucran vehículos pesados impactando contra los sistemas bajo las mismas condiciones de impacto. Por lo tanto, los datos del acelerómetro de los Ensayos 31 y 41 se pueden utilizar para identificar si se necesitan los Ensayos 38 y 45. Tal como se describe en el Apéndice G, los datos del acelerómetro de los Ensayos 31 y 41 pueden ser integrados para obtener la fuerza vs deformación de la terminal o amortiguador. El dato de fuerza vs desviación puede ser usado para estimar la velocidad de impacto del ocupante (OIV) y la aceleración posterior al impacto (RA) para un vehículo de 3300 lb (1500 kg). Cabe notar que este análisis será conservador dado que las fuerzas de impacto experimentadas durante los ensayos 31 y 41 con el vehículo 2270P serán mayores que aquellas generadas por un automóvil mediano, debido a su masa pesada y mayor rigidez a la deformación del vehículo 2270P. Si el análisis de fuerza vs deformación predice que la terminal o amortiguador podrá satisfacer las pautas de evaluación para la OIV y RA para un vehículo de 3300 lb (1500 kg), los ensayos 38 o 45 no son recomendadas.

### **ENSAYO 44**

El Ensayo 44 está diseñado para evaluar la habilidad de un amortiguador no redirectivo de detener un automóvil grande durante un impacto lateral. Para esta prueba, el vehículo de ensayo 2270P es dirigido hacia el CIP del amortiguador con respecto a la transición con la estructura de respaldo. Cabe notar que los amortiguadores no redirectivos no están diseñados para atenuar un impacto de manera segura y, por lo tanto, los parámetros de riesgo del ocupante y los criterios de evaluación I y H no están entre los criterios de evaluación recomendados. Sin embargo, estos valores deben ser reportados para que las agencias viales de alguna forma estimen el riesgo potencial de utilizar amortiguadores no redirectivos. Los vehículos impactantes deben permanecer estables y en plano vertical durante este ensayo. Si un sistema realmente carece de capacidad redirectiva, como un amortiguador inercial de arena, la línea central del vehículo de ensayo debe ser dirigida hacia la esquina del peligro protegido como se muestra en la Figura 2-3B. Sin embargo, si se espera que un amortiguador no redirectivo provea de alguna capacidad redirectiva, se deben seguir las pautas generales para determinar la ubicación de los CIP presentadas en la Sección 2.3.3.2 para el Ensayo 36.

#### ***2.2.2.3 Otras terminales y sistemas de amortiguación***

La evaluación de algunos amortiguadores o terminales de área amplia quizá no pueden ser abordados específicamente por la matriz de ensayo de choque presentada arriba. Ej. Los guardarrieles de nariz de toro y

de radio corto funcionan como terminales y amortiguadores, pero sus configuraciones de nariz asimétrica y / o grande pueden hacer que sea muy difícil la identificación de los puntos de impacto apropiados para algunas pruebas. Para estos sistemas, el diseñador y la agencia de ensayos deben intentar diseñar matrices de ensayo que exploren los elementos críticos del dispositivo de seguridad mientras aplican las intenciones y el marco básicos del criterio de evaluación y las pruebas recomendadas. Los vehículos de ensayo recomendados, velocidades y ángulos de impacto deben ser aplicados a la mayoría de los puntos de impacto críticos para el sistema en consideración.

### **2.2.3 AMORTIGUADORES DE IMPACTO MONTADOS SOBRE CAMIONES Y TRAILERS PORTABLES DE CONTROL DE TRÁNSITO EN ZONA DE OBRA.**

#### **2.2.3.1 Generalidades**

Los amortiguadores de impacto montados sobre camiones y tráileres (TMAs) están diseñados para proteger a los conductores de impactos con camiones de movimiento lento o inmóviles utilizados en zonas de obra y operaciones de mantenimiento. Durante un choque con un TMA, el camión de soporte es acelerado hacia adelante mientras que el vehículo impactante es desacelerado. Por lo tanto, el cambio de la velocidad total durante el impacto con un TMA está relacionado fuertemente a la masa del camión de soporte. Los camiones de soporte pesados producen altos cambios en la velocidad de impacto y requieren mayor disipación de energía por parte del TMA. Por otro lado, los camiones de soporte más livianos pueden producir altas aceleraciones para el operador y excesiva distancia de avance, lo que sería la longitud de viaje del camión de soporte durante el impacto. Esta distancia se usa para identificar el espacio mínimo requerido entre el camión de soporte y las actividades de construcción o mantenimiento. En la Sección A2.2.3 del Apéndice A se discuten los riesgos y factores del operador del camión de soporte que afectan la distancia de avance. Por lo tanto, los amortiguadores de impacto montados sobre camiones y tráileres deben ser clasificados en términos de ambos, el vehículo de soporte permisible más pesado y el más liviano. Téngase en cuenta que los Ensayos 50, 51 y 52 descritas en las siguientes secciones deben llevarse a cabo con el vehículo de soporte más pesado permitido o un camión de soporte bloqueado rígidamente que provea el peso de un camión de soporte ilimitado mientras que el Ensayo 53 debe ser llevada a cabo con el vehículo de soporte más liviano permitido.

Durante las pruebas, el camión de soporte debe ser colocado en segunda marcha y con el freno de mano activado. Téngase en cuenta que el freno de mano del camión de soporte debe estar en buenas condiciones al momento del ensayo. Los TMAs diseñados para una masa vehicular de soporte ilimitado deben ser testeados con el camión de soporte bloqueado para prevenir movimientos de avance o laterales. La Tabla 2-4 presenta ensayos de choque recomendados y la Figura 2-4 exhibe las condiciones de impacto para los amortiguadores de impacto montados sobre camiones y tráiler (TMAs). Los parámetros de los camiones de soporte se referencian en la Sección 3.4.2.4.

Los tráileres portables de control de tránsito en zona de obra son objetos fijos comunes en los costados de la carretera que se usan tanto en aplicaciones temporales como permanentes. Estos dispositivos pueden generar un peligro considerable, especialmente para los ocupantes de los autos chicos. Por lo tanto, quizá sea necesario proteger en algunas instancias estos tráileres o, de otra forma, hacerlos capaces de resistir un choque. La protección puede conseguirse mediante la colocación del tráiler detrás de una barrera o amortiguador. Los tratamientos de seguridad diseñados para ser integrales o sujetados a los tráileres de control de tránsito en la zona de obra deben ser sometidos a los Ensayos 50 y 51 de la categoría de amortiguadores de impacto montados sobre camiones y tráileres.

**TABLA 2-4. Matrices de Ensayo Recomendadas para Amortiguadores de Impacto montados sobre Camiones y Tráileres**

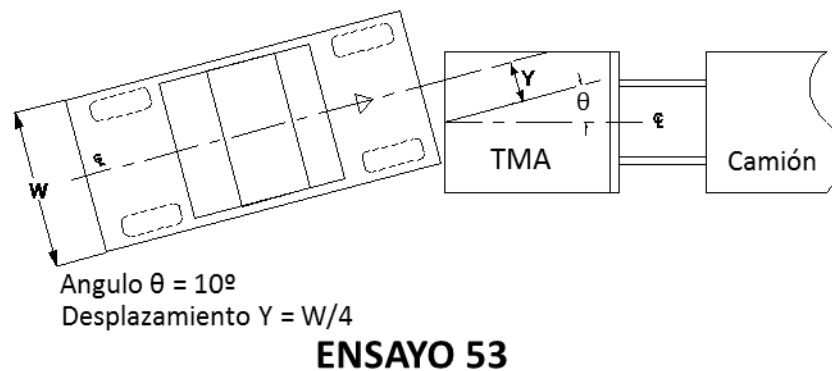
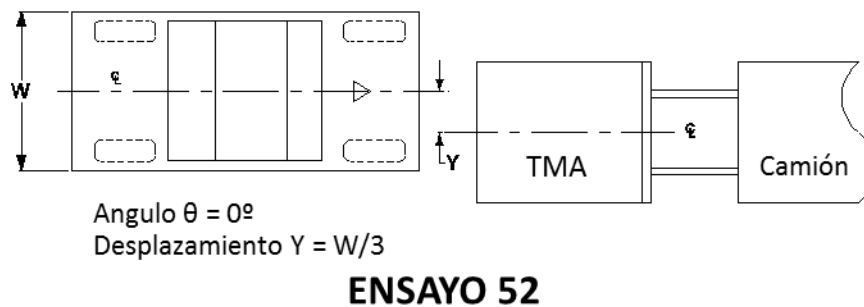
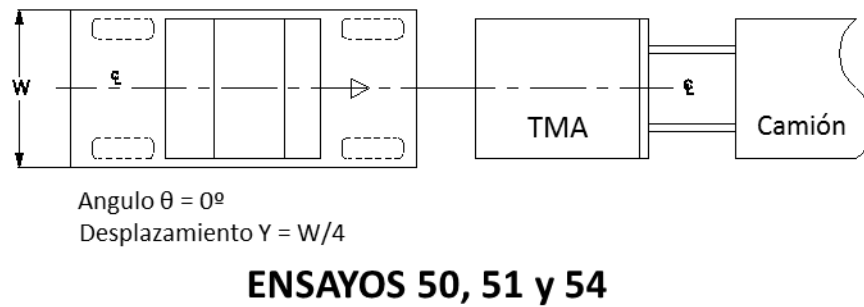
Nivel de Ensayo (TL)	Nro. de Ensayo	Vehículo	Velocidad de Impacto, <sup>a</sup> mph (km/h)	Ángulo de impacto, <sup>a</sup> q, grados.	Tolerancia de energía cinética, kip-ft (kJ)	Punto de Impacto	Criterio de Evaluación <sup>b</sup>
1	1-50	1100C	31 (50.0)	0	≥72 (97)	(c)	C,D,F,H,I
	1-51	2270P	31 (50.0)	0	≥148 (202)	(c)	C,D,F,H,I
	1-52	2270P	31 (50.0)	0	≥148 (202)	(c)	C,D,F,H,I
	1-53	2270P	31 (50.0)	10	≥148 (202)	(c)	C,D,F,H,I
	1-54 <sup>d</sup>	1500A	31 (50.0)	0	≥98 (133)	(c)	C,D,F,H,I
2	2-50	1100C	44 (70.0)	0	≥141 (191)	(c)	C,D,F,H,I
	2-51	2270P	44 (70.0)	0	≥291 (395)	(c)	C,D,F,H,I
	2-52	2270P	44 (70.0)	0	≥291 (395)	(c)	C,D,F,H,I
	2-53	2270P	44 (70.0)	10	≥291 (395)	(c)	C,D,F,H,I
	2-54 <sup>d</sup>	1500A	44 (70.0)	0	≥192 (261)	(c)	C,D,F,H,I
3	3-50	1100C	62 (100.0)	0	≥288 (390)	(c)	C,D,F,H,I
	3-51	2270P	62 (100.0)	0	≥594 (806)	(c)	C,D,F,H,I
	3-52	2270P	62 (100.0)	0	≥594 (806)	(c)	C,D,F,H,I
	3-53	2270P	62 (100.0)	10	≥594 (806)	(c)	C,D,F,H,I
	3-54 <sup>d</sup>	1500A	62 (100.0)	0	≥392 (532)	(c)	C,D,F,H,I

a Ver Sección 2.1.2 para las tolerancias en las condiciones de impacto.

b Ver Tabla 5-1.

c Ver Figura 2-3B para el punto de impacto.

d Este ensayo es opcional.



**NOTA:** Tolerancia recomendada en el Desplazamiento  $Y$   
para todos los Ensayos =  $\pm 0,05(W)$

**Figura 2-4. Condiciones de Impacto para los Ensayos de TMA**

### 2.2.3.2 Descripción de los Ensayos

#### ENSAYOS 50 y 51

El Ensayo 50 está diseñado para evaluar el desempeño ante el impacto de los TMAs durante los impactos de automóviles pequeños. El Ensayo 51 está dirigido a examinar la capacidad de disipación de energía del TMA, la suficiencia estructural, riesgo del ocupante y la distancia de avance para el camión de soporte durante el impacto con un ómnibus de pasajeros. Ambas pruebas deben ser llevadas a cabo con el camión de soporte más pesado permitido o un camión de soporte bloqueado rígidamente para el límite superior de peso del camión de soporte.

## ENSAYOS 52 y 53

Los Ensayos 52 y 53 examinan la capacidad de un TMA para atenuar impactos angulares y desplazados del centro con ómnibus de pasajeros de manera segura. Las dos principales preocupaciones para estas pruebas son la suficiencia estructural del TMA y el riesgo del ocupante. El Ensayo 52 debe ser llevado a cabo con el camión de soporte más pesado permitido o un camión de soporte bloqueado rígidamente para el límite superior de peso del camión de apoyo mientras que el Ensayo 53 debe llevarse a cabo con el camión de apoyo más ligero permitido.

## ENSAYO 54 (Opcional)

El Ensayo 54 está diseñado para evaluar la preparación de los elementos que absorben energía en un TMA para los impactos que involucran automóviles medianos. Es preferible que los TMAs provean niveles aceptables de protección para todos los vehículos de pasajeros. Existe una preocupación en que los diseños existentes estén finamente ajustados para minimizar la longitud del TMA, y al mismo tiempo cumplan los requisitos de las pruebas de automóviles pequeños y camionetas pesadas; los diseñadores no consideran los parámetros de riesgo del ocupante para los impactos que involucran automóviles medianos. Por otra parte, si se deben alargar los diseños existentes para cumplir con los requisitos de esta nueva prueba, existe la preocupación de que los costos y los problemas operativos pueden aumentar considerablemente y que la durabilidad disminuirá. Por lo tanto, el Ensayo 54 se considera como opcional. Sin embargo, se les alienta a los fabricantes y las agencias viales que desarrollen e implementen TMAs que puedan acomodar de manera segura a los automóviles medianos. Como previamente se presenta en la descripción de los Ensayos 38 y 45, esta prueba puede no ser exigida mediante un análisis de los datos del acelerómetro del Ensayo 51 que indica la preparación apropiada del amortiguador.

Los ensayos de choque recomendados solo evalúan el desempeño ante el impacto de un TMA durante las colisiones con automóviles. Hasta el momento, no se desarrollaron amortiguadores de impacto montados sobre camiones que sean capaces de acomodar los impactos de camiones pesados. Así, la prueba de choque en escala real no evalúa las consideraciones operacionales, como el potencial de fallo en la fatiga de los elementos estructurales, absorción de humedad que incrementa el peso de la unidad, movilidad del sistema o influencias de las variaciones de temperatura u otros factores. *Desempeño y Experiencia de Operación para Amortiguadores de impacto montados sobre camiones (Performance and Operational Experience of Truck-Mounted Attenuators)* (93) presenta una síntesis de prácticas relacionadas con la selección de amortiguadores de impacto montados sobre camiones.

## 2.2.4 ESTRUCTURAS DE SOPORTE, DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO EN ZONA DE OBRA, POSTES FRANGIBLES Y CANALIZADORES LONGITUDINALES

### 2.2.4.1 Generalidades

Las señales, soportes de luminarias y buzones, dispositivos de control de tránsito en zona de obra y los postes frangibles o de quiebre incorporan soportes de estructura vertical que pueden ser un obstáculo para los vehículos errantes. Los dispositivos de quiebre, usados comúnmente con señales y postes de luminarias, frecuentemente incorporan fusibles mecánicos que requieren de una cierta energía cinética para ser activados. Para estos sistemas, las pautas incluyen un ensayo de velocidad baja para evaluar la energía del sistema de activación. Además, hay una preocupación sobre el potencial de intrusión en el habitáculo, desaceleración excesiva e inestabilidad vehicular durante los impactos a alta velocidad con todos los sistemas en esta categoría. Téngase en cuenta que el criterio de riesgo para el ocupante de las estructuras de quiebre y los dispositivos de zona de obran es mucho más severo que aquel usado para las barreras longitudinales y amortiguadores de



impacto. Estos criterios más estrictos de riesgo de ocupante se implementan en reconocimiento de la capacidad de los sistemas de quiebre de proporcionar un mayor nivel de seguridad de lo que es posible para las barreras longitudinales y otros sistemas de seguridad. En la Tabla 2-5 se presentan las pruebas de choque recomendadas para la evaluación de las estructuras de soporte, dispositivos de control de tránsito en zona de construcción, postes de quiebre o frangibles y canalizadores longitudinales. En el Glosario se hace referencia a la definición de estos dispositivos.

Las estructuras de soporte incluyen soportes de señales, soportes de buzón, soporte de iluminación, soporte de sistemas SOS y barreras de cierre. Los hidrantes de incendio también están ubicados comúnmente dentro de la zona despejada de rutas o calles urbanas. Aunque no se incluyen específicamente en estas guías, cuando se evalúa el desempeño ante el impacto contra los hidrantes de incendio, se deben utilizar los criterios de impacto de otras estructuras de soporte. Los dispositivos de control de tránsito en zona de construcción incluyen tambores de plástico, barricadas, conos, paneles verticales y sus soportes, y postes delineadores. Las pautas son aplicables a los dispositivos permanentes y transitorios en zona de obra.

Las luces, las baterías, los paneles solares, las banderillas y otros elementos complementarios están usualmente unidos a las estructuras de soporte y a los dispositivos de control de tránsito en zona de obra. Estos complementos algunas veces se pueden separar de su sostén y penetrar a través del parabrisas de un vehículo. Este comportamiento es comúnmente observado en las señales de soporte con base curva y dispositivos en zona de obra. Estos sistemas deben ser evaluados con cualquier complemento que se utilice habitualmente en el lugar, así como cualquier otro accesorio que esté normalmente incorporado a los sistemas de dispositivos en zona de obra como las bolsas de arena, banderas, paneles, etc., durante el ensayo de choque deben ser incorporados para asegurar un desempeño ante el impacto apropiado. Téngase en cuenta que cuando las luces y los paneles solares están montados en estructuras altas de forma permanente y se emplea un dispositivo frangible, el riesgo de penetración del parabrisas se reduce enormemente.

Los sistemas de barreras de plástico llenas de agua plantean una situación única, ya que están diseñados para un largo rango de capacidades estructurales y aplicaciones. Los diseños iniciales estaban previstos para usarse como barreras seguras con la habilidad de contener y redirigir vehículos errantes. Sin embargo, algunos de los diseños más recientes están previstos para usarse como canalizadores, ya sea utilizado de forma individual como barricadas independientes o unidas para formar una unidad continua. Estos dispositivos, usados de manera simple o empalmados, son clasificados como dispositivos canalizadores longitudinales en el *Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Uniformes (Manual on Uniform Traffic Control Devices)* (53). Para los sistemas previstos para usarse como barricadas independientes, el dispositivo debe ser evaluado como una barricada. Para los sistemas diseñados como barreras positivas, debería realizarse un ensayo de choque en él como una barrera temporal o permanente, como se presenta en la Sección 2.2.1. Para los canalizadores longitudinales o cualquier dispositivo canalizador que incorpora elementos individuales que están conectados para formar una unidad continua, estos sistemas son considerados una clase separada de dispositivo con diferentes pautas de evaluación, como se describe en la Sección 2.2.4.2 debajo de los ensayos 90 y 91. Un dispositivo testeado como un canalizador longitudinal que tiene la apariencia de una barrera positiva debe ser identificado claramente como dispositivo canalizador. El laboratorio de ensayos debe indicar prominentemente que estos sistemas no son barreras en todas las documentaciones del ensayo y los diseñadores deben remarcar claramente cada unidad individual con una advertencia que indica que el sistema está evaluado sólo como un dispositivo canalizador y no recomendado para usarse como una barrera positiva.

Se debe determinar un ángulo crítico de impacto (CIA) para cada ensayo recomendado en la Tabla 2-5. El ángulo de impacto crítico debe representar el peor caso de condición de impacto que es consistente con la

manera en que el artículo de ensayo será implementado en la carretera. Ej. Los dispositivos de seguridad que pueden ser usados cerca de una intersección pueden ser golpeados de cualquier dirección. En este caso, la prueba debe ser llevada a cabo en ambos, 90 grados de la dirección normal y en cualquier orientación entre 0 y 25 grados que se considera como representante de alto riesgo para que el sistema falle en cualquiera de los criterios de evaluación recomendados. Los dispositivos que están diseñados para ser usados en el costado de carreteras divididas solo necesitan ser evaluados para ángulos de impacto de 0 a 25 grados. Sin embargo, si este mismo sistema puede ser usado en ubicaciones donde puede estar sujeto a impactos en ángulos inversos, se deben considerar envolventes de impacto de 0 a 25 grados y 155 a 180. Algunos dispositivos tendrán más de un CIA. En este caso, la prueba debe ser llevada a cabo con el CIA que fue juzgado de poseer el mayor potencial de fallo de ensayo. Cuando ningún CIA posee el mayor riesgo de fallo de ensayo, se deben llevar a cabo múltiples ensayos.

Las estructuras de soporte simples deben ser evaluadas con el centro del soporte alineado con el punto a un cuarto a derecha o izquierda del centro del vehículo impactante. Las pruebas anteriores han mostrado que la inclinación puede llevar a la inestabilidad vehicular durante los ensayos de alta velocidad. Además, si se llevan a cabo ensayos de alta y baja velocidad con un vehículo 1100C, el mismo automóvil puede ser utilizado en ambas pruebas, siempre y cuando haya un daño vehicular menor durante el ensayo de choque a baja velocidad. Los dispositivos con soportes múltiples, como un sistema de señal de doble poste, deben ser evaluados para que el vehículo impactante enfrente el máximo número de postes posible.

Como se muestra en la Tabla 2-5, se recomiendan tres ensayos de choque en escala real para las tres clases de dispositivos en esta categoría. Dos de estos ensayos involucran impactos de alta velocidad con los vehículos 1100C y 2270P. Se recomiendan ambos ensayos para identificar con exactitud el potencial de intrusión de elementos de prueba en el parabrisas o el techo de las dos clases de vehículo. Aunque se recomiendan dos ensayos de choque a alta velocidad, quizá no sea necesario realizarlas. Se emplearon ensayos de alta velocidad de vehículos bogie para identificar la trayectoria del artículo de ensayo y parámetros de riesgo del acompañante. Los ensayos de alta velocidad de vehículos bogie pueden utilizarse para identificar cuáles de los dos ensayos de alta velocidad representa el mayor potencial de fallo. Por lo tanto, el número de pruebas de choque en escala real puede ser reducido. Aunque no se recomienda como una práctica general, algunas agencias viales aceptaron dispositivos de zona de construcción basados solamente en los resultados de los ensayos de alta velocidad en vehículos bogie, siempre y cuando haya clara evidencia de que el ensayo de trayectoria del artículo no plantea ningún problema a los ocupantes en el vehículo y que las medidas de riesgo del ocupante están dentro de los límites recomendados. En la Figura 2-5 se muestran las condiciones de impacto para esta clase de dispositivo de seguridad.

**TABLA 2-5. Matrices de Ensayo Recomendadas para Estructuras de Soporte, Dispositivos de Control de Tránsito en Zona de Obra y Postes Frangibles**

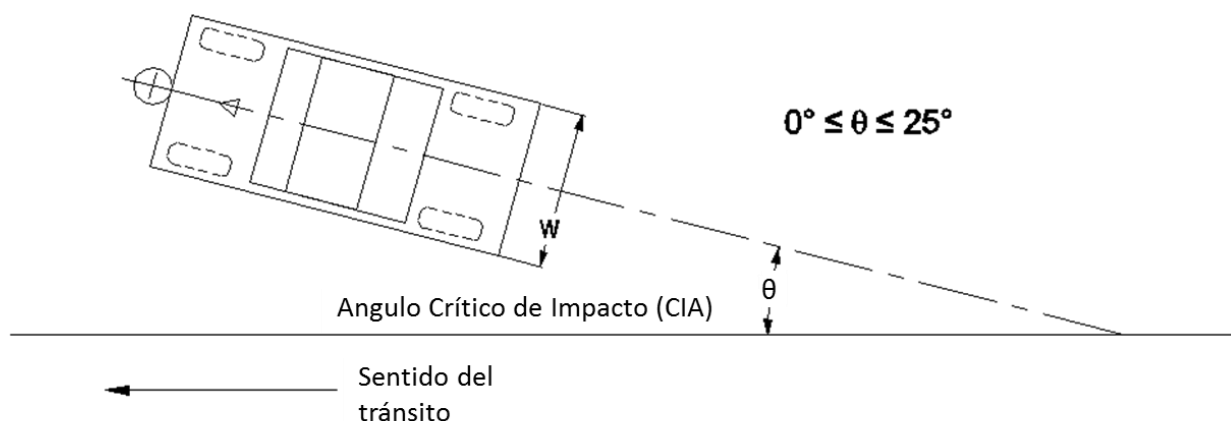
Nivel de Ensayo	Dispositivo	Nro. de Ensayo	Vehículo	Velocidad de impacto, <sup>a</sup> mph (km/h)	Ángulo de impacto, <sup>a</sup> θ, °	Rango KE Aceptable, kip-ft (kJ)	Punto de impacto	Criterio de Evaluación <sup>b</sup>
1	Estructuras de Soporte	1-60	1100C	19 (30)	CIA	≤34 (41)	(c)	B,D,F,H,I,N
		1-61	1100C	31 (50)	CIA	≥72 (97)	(c)	B,D,F,H,I,N
		1-62	2270P	31 (50)	CIA	≥148 (202)	(c)	B,D,F,H,I,N
	Dispositivos de Control de Tránsito en Zona de Obra	1-70	1100C	19 (30)	CIA	≤34 (41)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
		1-71	1100C	31 (50)	CIA	≥72 (97)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
		1-72	2270P	31 (50)	CIA	≥148 (202)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
	Postes Frangibles	1-80 <sup>d</sup>	1100C	31 (50)	0–25	≤94 (1 15)	(c)	B,D,F,H,I,N
		1-82	2270P	31 (50)	0–25	≥148 (202)	(c)	B,D,F,H,I,N
	Canalizadores Longitudinales	1-90	1100C	31 (50)	0–25	≥72 (97)	(c)	C,D,F,H,I,N
		1-91	2270P	31 (50)	0–25	≥148 (202)	(c)	C,D,F,H,I,N
2	Estructuras de Soporte	2-60	1100C	19 (30)	CIA	≤34 (41)	(c)	B,D,F,H,I,N
		2-61	1100C	44 (70)	CIA	≥141 (191)	(c)	B,D,F,H,I,N
		2-62	2270P	44 (70)	CIA	≥291 (395)	(c)	B,D,F,H,I,N
	Dispositivos de Control de Tránsito en Zona de Obra	2-70	1100C	19 (30)	CIA	≤34 (41)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
		2-71	1100C	44 (70)	CIA	≥141 (191)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
		2-72	2270P	44 (70)	CIA	≥291 (395)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
	Postes Frangibles	2-80	1100C	31 (50)	0–25	≤94 (1 15)	(c)	B,D,F,H,I,N
		2-81	1100C	44 (70)	0–25	≥141 (191)	(c)	B,D,F,H,I,N
		2-82	2270P	44 (70)	0–25	≥291 (395)	(c)	B,D,F,H,I,N
	Canalizadores Longitudinales	2-90	1100C	44 (70)	0–25	≥141 (191)	(c)	C,D,F,H,I,N
		2-91	2270P	44 (70)	0–25	≥291 (395)	(c)	C,D,F,H,I,N
3	Estructuras de Soporte	3-60	1100C	19 (30)	CIA	≤34 (41)	(c)	B,D,F,H,I,N
		3-61	1100C	62 (100)	CIA	≥288 (390)	(c)	B,D,F,H,I,N
		3-62	2270P	62 (100)	CIA	≥594 (806)	(c)	B,D,F,H,I,N
	Dispositivos de Control de Tránsito en Zona de Obra	3-70	1100C	19 (30)	CIA	≤34 (41)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
		3-71	1100C	62 (100)	CIA	≥288 (390)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
		3-72	2270P	62 (100)	CIA	≥594 (806)	(c)	B,D,E,F,H,I,N
	Postes Divisorios	3-80	1100C	31 (50)	0–25	≤94 (1 15)	(c)	B,D,F,H,I,N
		3-81	1100C	62 (100)	0–25	≥288 (390)	(c)	B,D,F,H,I,N
		3-82	2270P	62 (100)	0–25	≥594 (806)	(c)	B,D,F,H,I,N
	Canalizadores Longitudinales	3-90	1100C	62 (100)	0–25	≥141 (191)	(c)	C,D,F,H,I,N
		3-91	2270P	62 (100)	0–25	≥291 (395)	(c)	C,D,F,H,I,N

a Ver Sección 2.1.2 para las tolerancias en condiciones de impacto.

b Ver Tabla 5-1.

c Ver Figura 2-5 para los puntos de impacto

d Los Ensayos 1-80 y 1-81 tienen condiciones de prueba idénticas. Por lo tanto, sólo se muestra el Ensayo 1-80.



- NOTAS:**
1. Tolerancia recomendada para el Punto de Impacto =  $\pm 0,05 W$
  2. Ver Sección 2.2.4.1 para la orientación recomendada del artículo de prueba, discusión del CIA, Desplazamiento opcional de la posición del vehículo y Condiciones de Impacto para múltiples soportes.

**Figure 2-5. Condiciones de Impacto para Estructuras de Soporte, Dispositivos de Control de Tránsito y Postes Frangibles**

#### **2.2.4.2 Descripción de los ensayos**

##### **ENSAYOS 60, 61 y 62 - Estructuras de Soporte**

Se recomiendan tres ensayos de choque en escala real para la evaluación de las estructuras de soporte. El Ensayo 60 es un impacto a baja velocidad con un vehículo de ensayo 1100C chocando contra el artículo de prueba a una velocidad de 19 mph (30,0 km/h). Esta prueba está diseñada para evaluar la energía cinética requerida para activar el mecanismo de fractura o de atenuación en el soporte. La preocupación principal para este ensayo es el potencial del cambio excesivo de velocidad y la intrusión de componentes estructurales en el panel del suelo del vehículo impactante. Los riesgos de fallo más comunes para estos ensayos incluyen la intrusión de componentes estructurales en el parabrisas del vehículo y el potencial de inestabilidad vehicular. El riesgo del ocupante también es una preocupación para estas tres pruebas.

##### **ENSAYOS 70, 71 y 72 – Dispositivos de Control de Tránsito en Zona de Obra**

Se recomiendan tres ensayos de choque en escala real para la evaluación de los dispositivos de control de tránsito en zona de obra. Aunque estos sistemas pueden ser colocados en el pavimento o en una superficie firme, como en empedrado o césped, se recomienda que todas las pruebas se lleven a cabo con el sistema colocado en una superficie pavimentada para que provea una comparación consistente entre las características testeadas. Si los soportes del artículo de ensayo están asegurados normalmente con bolsas de arena u otras pesas en las aplicaciones de campo, también deben ser utilizados así durante el ensayo de choque.

El Ensayo 70 está diseñada para evaluar la habilidad de los vehículos pequeños de activar cualquier fractura o mecanismo de atenuación asociado con el dispositivo en la zona de obra durante los impactos de baja velocidad. Para los dispositivos autónomos y livianos, los cambios de velocidad durante los impactos a baja velocidad

están dentro de los límites aceptables, incluso cuando no se incorpora una fractura o mecanismo de atenuación. Por lo tanto, el Ensayo 70 se considera opcional para los dispositivos de control de tránsito en zona de obra con un peso menor de 220 lb (100 kg).

Los Ensayos 71 y 72 están dirigidos a evaluar el comportamiento de los quiebres durante los impactos a alta velocidad. Los riesgos más comunes de fallo para estas pruebas incluyen la intrusión de componentes estructurales en el parabrisas del vehículo, inestabilidad vehicular y criterio de riesgo del ocupante. Téngase en cuenta, sin embargo, que los dispositivos de peso liviano no pueden causar suficiente cambio de velocidad para resultar en fallo de la prueba bajo el criterio de riesgo del ocupante. Por lo tanto, los Ensayos 71 y 72 pueden llevarse a cabo sin los instrumentos necesarios para determinar el riesgo del ocupante cuando el artículo de ensayo tiene un peso total de 220 lb (100 kg) o menor. En este caso, la intrusión de elementos en el vehículo, daño del parabrisas y estabilidad vehicular son los factores primarios de la evaluación de desempeño.

### **ENSAYOS 80, 81 y 82 – Postes frangibles**

Los postes frangibles representan una clase especial de dispositivo que amerita un criterio de evaluación diferente de otros dispositivos de quiebre. La masa de los postes frangibles previene que estos dispositivos cumplan con criterio de riesgo de acompañante más severo, utilizado para otras estructuras de soporte. Se recomiendan tres ensayos de choque en escala real para la evaluación del desempeño de los postes frangibles. El ensayo 80 está diseñado para evaluar la habilidad de los automóviles chicos para activar el mecanismo de un poste frangible y mover el poste. La velocidad de ensayo está fijada a 31 mph (50 km/h) en reconocimiento de que la alta masa asociada con los postes frangibles evite la activación a velocidades bajas. Se recomiendan dos ensayos de alta velocidad para estos dispositivos para poder verificar que el sistema de quiebre tenga un desempeño correcto para todo el rango de automóviles. Cabe notar que sólo se recomiendan dos ensayos para los sistemas del TL-1 dado que la prueba de velocidad máxima es la misma que la prueba de velocidad baja recomendada.

### **ENSAYOS 90 y 91 – Canalizadores Longitudinales**

Como se mencionó previamente, algunos sistemas de barreras llenas de agua están siendo utilizados como dispositivos canalizadores. Cuando se utiliza de esta forma, las barreras no están previstas para funcionar como sistemas de defensa para contener y redirigir vehículos impactantes, sino que están diseñadas para proveer clara indicación visual del camino del vehículo previsto para atravesar una zona de obra. Dado que estos canalizadores no están diseñados para funcionar como defensas laterales, es inapropiado utilizar el criterio de desempeño ante el impacto de las barreras longitudinales. Además, dado que estas estructuras son muy pesadas y no incorporan ningún sistema frangible o de quiebre, no pueden ser evaluadas basándose en el criterio de desempeño para estos sistemas. Por lo tanto, los canalizadores longitudinales fueron colocados en una clase de sistema diferente. Se recomiendan dos ensayos de choque en escala real, cada uno con los vehículos 1100C y 2270P. Ambas pruebas deben hacerse en un ángulo de impacto entre 0 y 25 grados. Al igual que con las estructuras de soporte, los ensayos deben llevarse a cabo en un ángulo crítico de impacto (CIA) que maximice el riesgo de vuelco del vehículo y/o desaceleraciones de vehículo excesivas. Cabe destacar que el criterio objetivo al seleccionar un CIA no se ha identificado. Se les anima a los diseñadores a examinar el comportamiento del vehículo durante las pruebas con canalizadores similares al momento de seleccionar un CIA para un nuevo diseño.

### **2.2.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS AL COSTADO DEL CAMINO Y DISCONTINUIDADES DEL PAVIMENTO**

Las características geométricas al costado del camino incluyen cualquier condición que se desvíe de una superficie plana, como las cunetas, cordones, terraplenes, accesos, medianas elevadas o deprimidas, estructuras de drenaje y cortes de rocas. Estas características deben ser diseñadas para ser traspasables por vehículos errantes. Aunque las simulaciones por computadora, como el Modelo de Simulación Highway Vehicle Object Simulation Model (HVOSM), fueron utilizadas para estudiar el comportamiento del vehículo mientras atraviesa la mayoría de las características geométricas, hay una necesidad de llevar a cabo ensayos de choque en escala real para verificar los resultados de la simulación. Múltiples características usualmente interactúan para afectar el desempeño ante el impacto en el costado del camino. Ej. Las configuraciones de cunetas al costado de la carretera pueden tener un efecto significativo en el desempeño ante el impacto en un acceso con pendiente. Además, las condiciones de ensayo críticos para algunos dispositivos cambian de forma significativa dependiendo de los parámetros de diseño. Ej. El riesgo de vuelco durante el atravesamiento de cunetas en V es maximizado cuando un vehículo traspasando deja el suelo en la pendiente y luego hace contacto de nuevo con el suelo después de haber pasado la mitad de la cuneta. Para una cuneta poco profunda con pendientes empinadas, una invasión de 15 grados producirá este comportamiento mientras que, para una cuneta más profunda o pendientes más planas, se requieren mayores ángulos de invasión para obtener la “peor condición práctica”. Como resultado, es imposible identificar un simple conjunto de condiciones de ensayo que explore adecuadamente el desempeño ante el impacto de las características geométricas al costado del camino.

Generalmente, las características geométricas de la carretera deben diseñarse y evaluarse dentro del marco general de uno de los seis niveles de ensayo para las barreras longitudinales. Sin embargo, los ángulos de impacto críticos deben seleccionarse para las características geométricas particulares en evaluación. Los ángulos críticos de impacto para estas características deben ser identificados basados en el riesgo de vuelco predicho por la simulación por computadora. Además, se recomienda que la simulación por computadora se utilice para identificar geometrías críticas al costado del camino y que se utilice una prueba de choque en escala real para evaluar estas condiciones geométricas como una forma de verificar las predicciones de la simulación.

Algunas características geométricas, como los accesos y las estructuras de drenaje, probaron ser difíciles para ser diseñadas de forma que cumplan las condiciones de impacto del TL-3. En muchos casos, las agencias descubrieron que diseñar dichas características para cumplir con la condición de traspaso de 62 mph (100 km/h) es impráctica y sin costo-efecto, incluso en las autopistas donde todos los dispositivos de seguridad están diseñados para cumplir con los requerimientos del TL-3. Sin embargo, diseños prácticos y económicos pueden ser posibles para las velocidades intermedias entre el TL-2 y el TL-3. En esta clase de situación, se recomienda que se considere el uso de las velocidades de traspaso adicionales entre 44 y 62 mph (70 y 100 km/h) en el diseño y prueba de características geométricas al costado del camino. Son necesarias investigaciones adicionales para desarrollar los tratamientos de seguridad de costo-efecto para estas características.

Las discontinuidades del pavimento incluyen cualquier irregularidad en la superficie pavimentada, como un bache o un desnivel en el borde del pavimento. Se han utilizado ensayos de choque en escala real para evaluar el comportamiento del vehículo durante los impactos con estas discontinuidades. A diferencia de las características geométricas al costado del camino, las discontinuidades de pavimento normalmente se producen en ángulos de invasión bajos. Además, como es el caso con los desniveles de borde, el riesgo para los motoristas es también una función de comportamiento del conductor. En estas situaciones, es prudente identificar la aproximación crítica o el comportamiento del conductor con el cual se debe realizar la prueba. Por ejemplo, los desniveles en el borde normalmente se evalúan en una “condición de limpieza de bordes”, donde el conductor

baja dos ruedas fuera del pavimento y luego intenta de reingresar a la ruta en un ángulo de aproximación poco profundo. Si esta acción se ejecuta en un desnivel de pavimento profundo y con pendientes abruptas, las ruedas delanteras no podrán retomar el pavimento debido al borde expuesto. Aumentar la dirección en este punto puede causar la pérdida del control cuando las ruedas monten el pavimento repentinamente. La principal preocupación de seguridad para las discontinuidades de pavimento incluye el potencial de pérdida de control que puede terminar en vehículos invadiendo la línea de tránsito opuesta o chocando fuera del camino y la posibilidad de altas desaceleraciones asociadas con anomalías de pavimento verticales grandes, como baches largos y profundos. Siempre que sea posible, las condiciones de impacto deberían seleccionarse para que se inscriban en el marco general de las barreras longitudinales. Considérese, sin embargo, que los ángulos de impacto bajos son mucho más habituales y en algunos casos, más críticos para las discontinuidades de pavimento de lo que son los ángulos de impacto altos. La Sección 5.3 presenta discusiones adicionales en la evaluación de los resultados de los ensayos de choque para ambos, discontinuidades de pavimento y características geométricas al costado de la carretera.

## **2.3 PUNTO DE IMPACTO PARA DISPOSITIVOS REDIRECTIVOS**

### **2.3.1 GENERALIDADES**

El punto de impacto de un dispositivo de seguridad es el punto en el cual el vehículo de ensayo hace contacto con el artículo de ensayo. El punto de impacto para una barrera redirectiva puede afectar su desempeño en el choque. La posibilidad del enganche de una rueda, embolsamiento y fallo estructural está en alguna manera relacionado al punto de impacto para muchos sistemas de barreras. Dentro de los límites prácticos, los puntos de impacto deben ser seleccionados para representar la ubicación a lo largo de un sistema de barrera que maximice el riesgo de fallo de la prueba. El punto de impacto que maximice el riesgo de fallo del ensayo se lo etiqueta como el punto crítico de impacto (CIP). La siguiente sección presenta recomendaciones para ubicar CIPs para las barreras redirectivas, amortiguadores de impacto y terminales.

El programa de computadora BARRERA VII (BARRIER VII) es utilizado como la herramienta primaria para identificar las ubicaciones de los CIP para los ensayos de barreras longitudinales (125). Este programa demostró ser capaz de predecir de manera precisa el sector de enganche de una rueda, embolsamiento y la sobrecarga en una barrera durante los ensayos de choque en escala real. Por lo tanto, cuando sea posible, el programa BARRIER VII debe ser utilizado para estimar las ubicaciones de los puntos críticos de impacto para los dispositivos redirectivos. Los procedimientos descriptos en el Apéndice A pueden ser usados para este fin.

Recientemente, el programa de computadora, LS-DYNA, ha sido utilizado para el mismo propósito. Cuando se implementa en forma correcta, el programa LS-DYNA ofrece una mayor capacidad de análisis y puede incluir la evaluación del vuelco de vehículo en el análisis de las ubicaciones de CIP. Sin embargo, el nivel de esfuerzo requerido para conducir una simulación del LS-DYNA hace que su uso sea solamente para el propósito de determinar ubicaciones impracticables de CIP. No obstante, en casos en que se desarrolla un modelo de sistema de LS-DYNA durante el proceso de diseño de un dispositivo de seguridad, también debe usarse para identificar ubicaciones de puntos críticos de impacto.

Cuando los análisis del BARRIER VII o el LS-DYNA son imprácticos para determinar los puntos críticos de impacto, se deben utilizar las siguientes pautas, derivas del BARRIER VII

### 2.3.2 BARRERAS LONGITUDINALES

La mayoría de las barreras longitudinales de postes y vigas tienen dos CIP potenciales, uno asociado con el enganche de la rueda y embolsamiento en un punto rígido, como un poste; y otro que produce la mayor carga en un componente crítico de riel, como una unión. Cuando las uniones coinciden con el punto rígido, como en los guardarrieles que colocan la unión en el poste, una simple prueba puede llevarse a cabo para evaluar ambos puntos críticos de impacto. Otras barreras longitudinales, incluyendo varias barandas sobre puentes, colocan uniones lejos del poste. En este caso, puede ser necesario llevar a cabo dos ensayos de choque en escala real para evaluar propiamente los puntos críticos de impacto. Téngase en cuenta, sin embargo, que sólo la prueba 2270P necesita ser repetida, dado que produce la mayor carga en la unión y por eso, genera la chance más grande de fallo estructural. Las barreras que permiten deformaciones laterales grandes generan altas tensiones en la barrera y un gran riesgo de que se enganche una rueda, o el embolsamiento en un poste alrededor de un gran sector o “ventana de vulnerabilidad”. En este caso, el CIP de una barrera con respecto al enganche y el embolsamiento es muy grande y las ubicaciones CIP adyacentes pueden superponerse realmente de modo de eliminar el concepto de un punto de impacto crítico. Este es el caso para las barreras flexibles, como la mayoría de los sistemas de cables. A medida que las barreras se rigidizan, la ventana de vulnerabilidad se reduce a unos pocos pies, y los ensayos en el CIP se hacen más importantes. Para las barreras muy rígidas, como las barandillas de los puentes de concreto y las transiciones de los barandales de aproximación, la ventana de vulnerabilidad asociada con un CIP puede ser tan corta como de uno a dos pies.

Para los sistemas de barreras de cables flexibles, el punto crítico de impacto dentro de la longitud necesaria debe tomar en cuenta el tipo de vehículo, así como también las condiciones que incrementa la propensión para pasar por encima de la barrera, pasar por debajo y penetrar entre los cables. Para los automóviles chicos (1100C) y medianos (1500A), el punto de impacto buscado será en la mitad entre los postes de soporte para evaluar la mayor posibilidad de pasar por debajo o penetrar entre cables. Para los camiones livianos (2270P) al igual que para otros vehículos pesados, el punto de impacto buscado se limitará a 12 pulgadas (300 mm) aguas arriba de un poste para todas las condiciones de ensayo. Desde las Tablas 2-2B hasta la 2-2E se proveen los puntos críticos de impacto para los sistemas de barreras de cables flexibles. Actualmente, no se dispone de guías para seleccionar el CIP para evaluar las transiciones de barandas de aproximación entre barreras de cable flexibles y sistemas de barrera longitudinal más rígidos. Como tal, se recomienda la simulación por computadora mediante el LS-DYNA o el BARRIER VII para identificar el CIP requerido para los ensayos de choque en transiciones.

Los sistemas de barreras de cables usualmente se implementan con un rango aceptable de espaciamiento entre postes. Para las barreras de cables colocadas dentro de cunetas en V para la cual se desea un rango de opciones de espaciamiento de postes, el comportamiento crítico del vehículo y/o el desempeño de los sistemas de barreras no puede ser evaluado usando un único espaciamiento. Sin embargo, es altamente impráctico utilizar las matrices de choque completas, como se muestran en las Tablas 2-2B hasta la 2-2E, para cada distancia entre postes prevista para usarse en cunetas de medianas. La Tabla 2-6 provee una guía recomendada para seleccionar el espaciamiento para los ensayos de choque y evaluación de sistemas de barreras de cables con múltiples opciones de distancia entre postes previstas para usarse en cunetas de medianas y se discute aún más en la Sección A2.3 del Apéndice A.



**TABLA 2-6. Espaciamiento de Postes Recomendado para Evaluar las Barreras de Cables colocadas dentro de Cunetas de Medianas**

<b>Nro. Diseño de Ensayo</b>	<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Posición de la Barreras</b>	<b>Factores de Evaluación Primarios</b>	<b>Espaciamiento entre Postes</b>
3-10	1100C	Terreno Nivelado	Estabilidad, Deformación del Habitáculo, Pasar por debajo y Penetración	Más Angosto
3-11	2270P	Terreno Nivelado	Ancho de Trabajo y Estabilidad	Ambos
3-13	2270P	Pendiente inicial	Estabilidad, Pasar por encima y Ancho de Trabajo	Más Angosto
3-14	1100C	Pendiente inicial	Estabilidad, Deformación del Habitáculo, y Penetración	Más angosto
3-15	1100C	Pendiente final	Pasar por debajo, Deformación del Habitáculo, y Riesgo para el Ocupante	Más ancho
3-16	1100C	Pendiente final	Estabilidad, Pasar por encima y Penetración	Más Angosto
3-17	1500A	Pendiente inicial	Penetración y Deformación del Habitáculo	Más ancho
3-18	2270P	Pendiente final	Pasar por encima y Penetración	Más ancho

La mayoría de los sistemas de barreras de cables probados para choques han sido construidos con tres a cuatro cables longitudinales. Ya que las barreras de medianas pueden ser chocadas en cualquier costado, el lado de los postes de soporte al cual los elementos de cable están amarrados puede alternar de poste en poste o de cable en cable. Aunque varios cables usualmente contribuyen a la contención y redireccionamiento de vehículos errantes, estos han sido capturados con éxito por al menos un cable. En ensayos de choque de camiones livianos contra barreras de cables de medianas ha habido una propensión demostrada para postes de soporte y cables amarrados (particularmente aquellos en el costado no impactado del poste de soporte) de ser empujada hacia abajo por el vehículo impactante. Este comportamiento puede llevar a una propensión incrementada para que los camiones livianos penetren a través o pasen por encima del sistema de barrera de cables.

Por lo tanto, se recomienda que se lleve a cabo un ensayo de choque sobre una barrera de cables de mediana y se evalúe con el cable del primer contacto (cable de captura primario) para el diseño de vehículo apropiado, colocado en su posición más crítica (en otras palabras, el lado posterior o el costado no impactado del poste de soporte). Para los sistemas de barreras en los cuales la fijación del cable de captura primario alterna entre los costados de impacto y no impacto de los postes, el CIP debe ser seleccionado para colocarse aguas arriba de un poste, con el cable de captura primario amarrado hacia el lado posterior (lado no impactado) del poste de soporte. En general, el cable de captura primario corresponderá al elemento de cable más alto ubicado entre la altura del paragolpes y la altura media del foco delantero, referido como la zona crítica de captura. Hablando

de manera general, la altura media del faro delantero se sitúa en una altura debajo de la esquina frontal del capot. Si ese cable no existe dentro de esta zona crítica de captura, el cable de captura primario debe tomarse como el cable más bajo por encima de la región crítica. Considerando un vehículo orientado a 25 grados con respecto a un sistema de barrera tangente, la altura del paragolpes corresponde al punto en la esquina del paragolpes frontal que primero hace contacto con la barrera de cables, o un hipotético plano vertical paralelo al sistema de barrera de cables. Al momento de seleccionar el cable de captura primario, los laboratorios de ensayos pueden considerar el realizar una serie de simulaciones dinámicas o usar trayectorias existentes de simulaciones de vehículos atravesando cunetas de medianas de 6H:1V y 4H:1V (61, 74, 86, 87, 88, 89, 95) para poder identificar previamente la ubicación de contacto vertical del vehículo, en relación a la cara de la barrera. Además, los laboratorios de ensayos pueden considerar la altura de los componentes críticos del vehículo (es decir, la altura crítica de la punta del paragolpes frontal, altura media del foco delantero, altura del capot, etc.) al momento de seleccionar el cable crítico.

### 2.3.2.1 Ensayos con los vehículos 1100C y 2270P

Las simulaciones por computadora han demostrado que los puntos críticos de impacto están controlados principalmente por la fuerza de fluencia dinámica del poste por unidad de longitud de barrera,  $F_p$ ; y el momento plástico del/de los elemento(s),  $M_p$  (125). Las fuerzas de elasticidad del poste pueden ser controladas ya sea por la resistencia del poste o por confinamiento del suelo.  $F_p$  se calcula como se muestra en la Ecuación 2-3.

$$F_p = \frac{F_y}{S} \quad (\text{Ecuación 2-3})$$

Donde:

$F_p$  = Fuerza de fluencia dinámica del Poste por longitud de barrera

$F_y$  = Fuerza de elasticidad de un solo poste

$S$  = Distancia entre postes

$M_p$  es el momento plástico efectivo de todos los elementos de barreras de rieles. Para un sistema de barrera de rieles simple,  $M_p$ , es simplemente el momento del elemento del riel. El momento plástico efectivo de un sistema de rieles múltiples es la suma del momento plástico de la viga más alta y los momentos plásticos de las vigas más bajas reducidos por una relación de las alturas del elemento más alto y el más bajo como se muestra en la Ecuación 2-4.

$$M_p = M_h + \sum M_i \left( \frac{H_i}{H_h} \right) \quad (\text{Ecuación 2-4})$$

Donde:

$M_p$  = Momento plástico efectivo de todos los elementos de barreras de rieles

$M_h$  = Momento plástico del elemento más alto sobre el suelo

$M_i$  = Momento plástico del elemento más bajo

$H_i$  = Altura del elemento más bajo

$H_h$  = Altura del elemento más alto

Una discusión más detallada de  $F_p$  y  $M_p$  así como también tablas de típicos valores se puede encontrar en el Apéndice A.

La Figura 2-6 puede ser usada para localizar los puntos críticos de impacto definidos por la distancia  $x$  para la porción de longitud necesaria de las barreras longitudinales de postes y vigas (Ensayos 10 y 11) para un nivel de ensayo dado. Las figuras muestran gráficas de la distancia crítica de impacto  $x$  para los valores de  $F_p$  y  $M_p$  para un sistema de barrera determinado. Las distancias mostradas son medidas aguas arriba del poste/unión de referencia como se muestra en la Figura 2-1. Una unión de rieles debe ser ubicada en o cerca del principio del poste de referencia, siempre y cuando esto sea consistente con la práctica en servicio. La interpolación puede ser usada para encontrar los valores de  $x$  para los puntos entre las curvas y la extrapolación puede ser usada para encontrar los valores de  $x$  por encima de la curva más alta o debajo de la curva más baja.

Las Figuras 2-12 hasta la 2-17 se utilizan para ubicar los CIP para las transiciones entre barreras longitudinales con diferente rigidez (Ensayo 20 y 21). Las figuras muestran gráficas de la distancia crítica de impacto  $x$  para los valores  $F_p$  y  $M_p$  para un sistema de barrera determinado. Las distancias mostradas son medidas desde el extremo aguas arriba del sistema más rígido, como se muestra en la Figura 2-1. Las propiedades de la barrera más flexible deben ser utilizadas para determinar  $F_p$  y  $M_p$ . La interpolación puede ser usada con las figuras 2-6 hasta la 2-11 como está descrito arriba. Nótese que estas figuras fueron desarrolladas con una transición hacia una barrera más rígida. Cuando la barrera de mayor rigidez no es rígida, la distancia  $x$  tendrá un leve incremento. Sin embargo, los ensayos de choque y simulación han demostrado que este efecto es relativamente chico y usualmente puede ser ignorado. En el Apéndice A se encuentra una discusión más detallada de los procedimientos descriptos arriba.

Las ubicaciones de CIP de barreras rígidas se estiman a partir de una prueba de choque en escala real y simulaciones por computadora. La Tabla 2-7 muestra los CIP estimados para las barreras rígidas. Téngase en cuenta que estas estimaciones pueden ser un poco imprecisas dado que hasta la fecha se llevaron a cabo pruebas y simulaciones limitadas con los vehículos de ensayo de MASH. Mientras la experiencia de prueba con estos vehículos aumenta, las agencias deben re-examinar los valores recomendados en la tabla 2-7 y revisarlos tanto como se necesite. Además, estos números representan los valores mínimos de  $x$  para las barreras no rígidas. Por lo tanto, cuando la extrapolación de las curvas como se muestra en las Figuras 2-6 hasta la 2-17 dan valores de CIP más bajos que aquellos mostrados en la Tabla 2-7, se deben utilizar las distancias de  $x$  de la Tabla 2-7.

Se ha llevado a cabo una amplia modelación informática con el programa LS-DYNA con barreras de hormigón independientes. Aunque la mayor parte de este esfuerzo se concentró en el diseño de la barrera, estos modelos deben ser usados cuando se considere práctico estimar las ubicaciones críticas del impacto. Estas ubicaciones

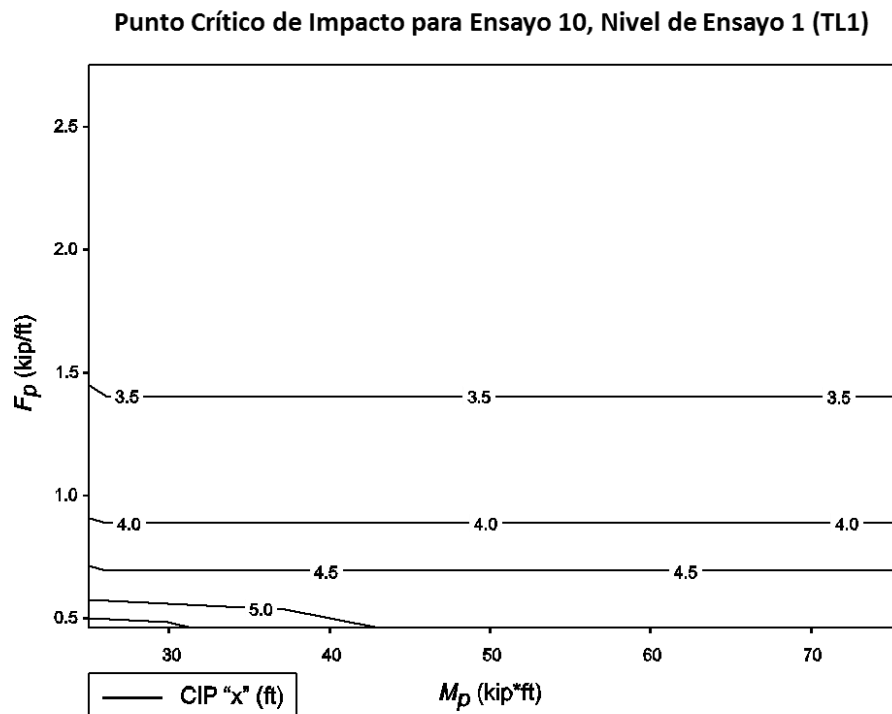
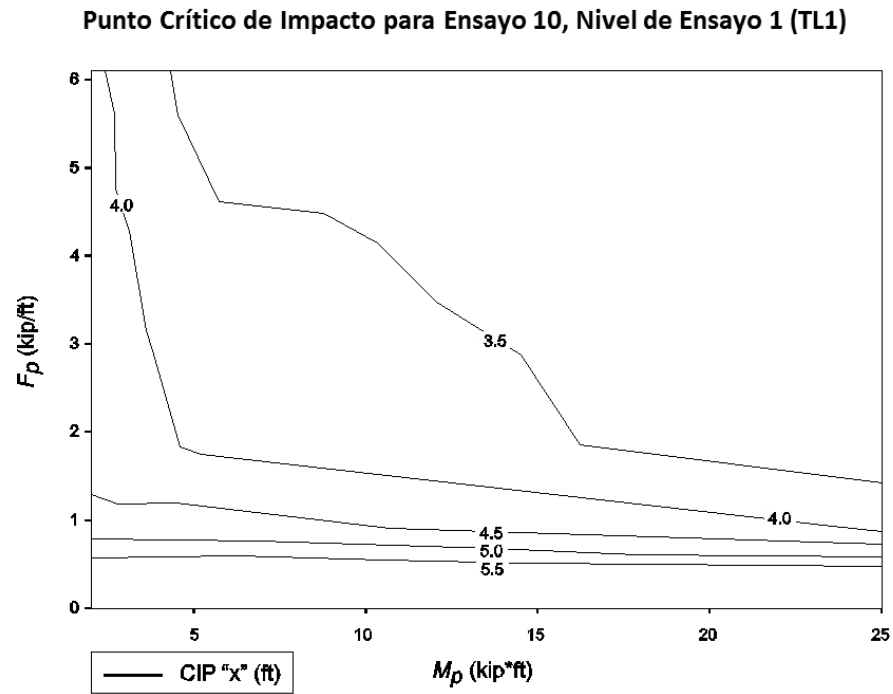
deben ser determinadas basándose en el desplazamiento lateral entre extremos de cada pieza, a medida que el vehículo de ensayo se aproxima a una junta y el grado de inclinación de la barrera durante el choque. Estos desplazamientos pueden terminar en enganches de la rueda y la inclinación de la barrera puede terminar en un sobrepaso de la misma y vuelco de vehículo. Cuando los modelos de computadora no están disponibles, deben utilizarse las distancias de los CIP mostradas en la Tabla 2-7 para el ensayo de barreras transitorias.

**TABLA 2-7. Puntos Críticos de Impacto para los Ensayos de Barreras Rígidas con los Vehículos 1100C y 2270P**

<b>Designación de Ensayo<sup>a</sup></b>	<b>Distancia X,<sup>b</sup> pies (m)</b>
1-10, 2-10	3.3 (1.0)
3-10, 4-10, 5-10, 6-10	3.6 (1.1)
1-11, 2-11	2.6 (0.8)
3-11, 4-11, 5-11, 6-11	4.3 (1.3)

a Ver Tabla 2-2A para detalles de los ensayos.

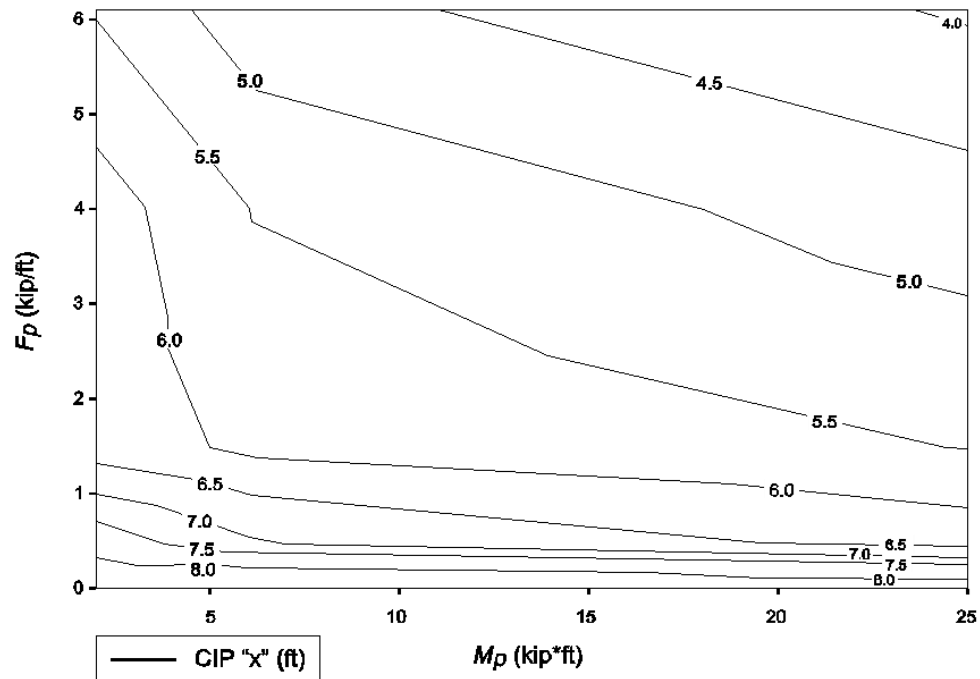
b Ver Figura 2-1 para la ilustración de la distancia x.



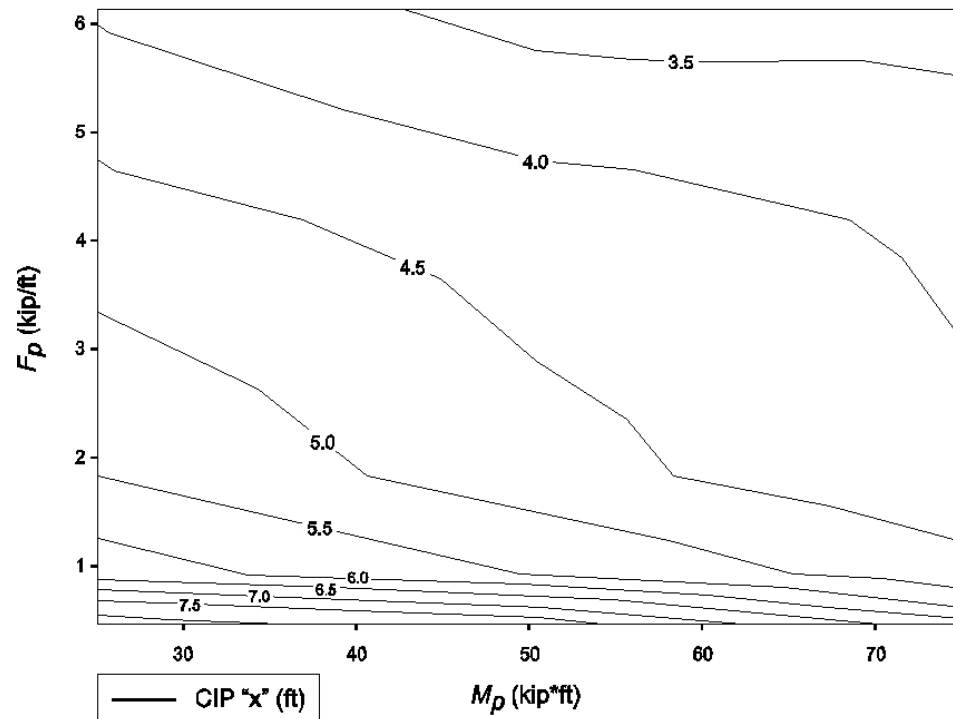
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-6. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Nivel de Ensayo 1 (TL1)

**Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Nivel de Ensayo 2 (TL2)**



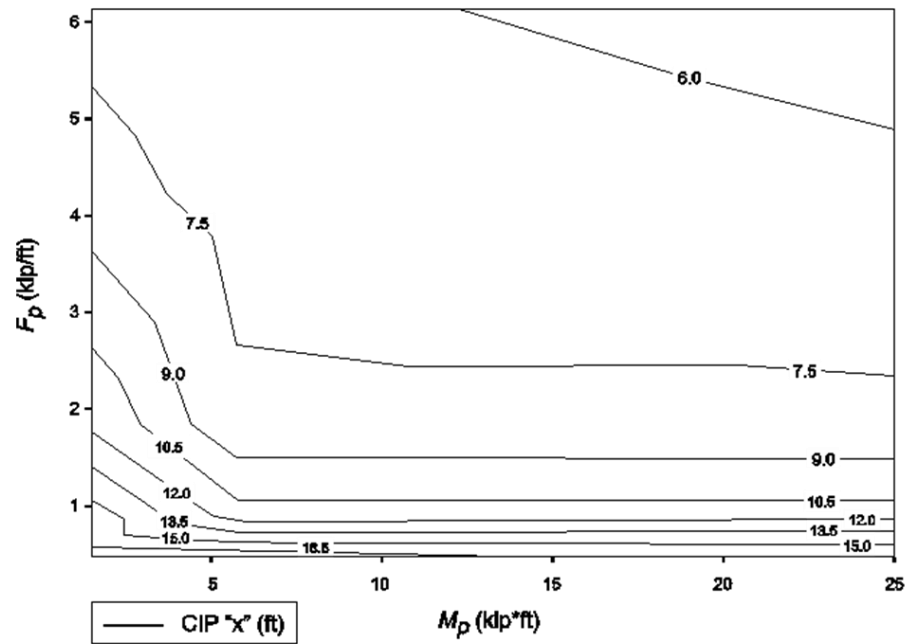
**Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Nivel de Ensayo 2 (TL2)**



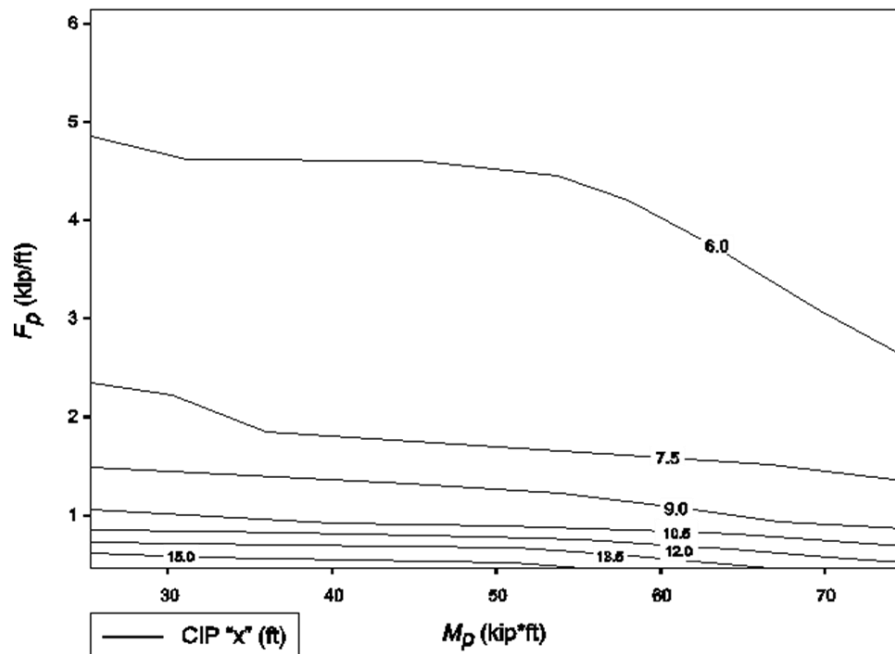
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-7. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Nivel de Ensayo 2 (TL2)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)



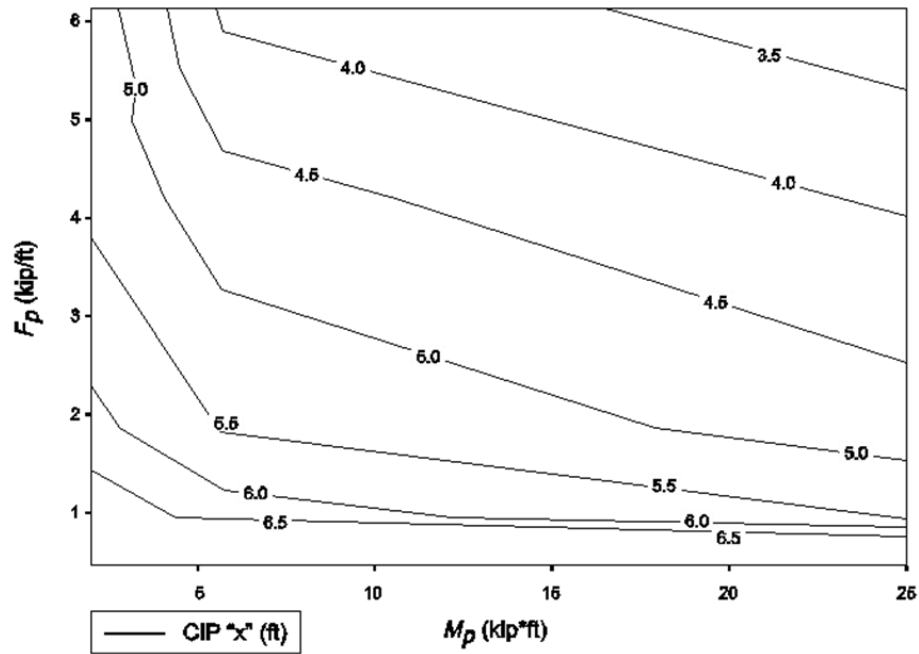
Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)



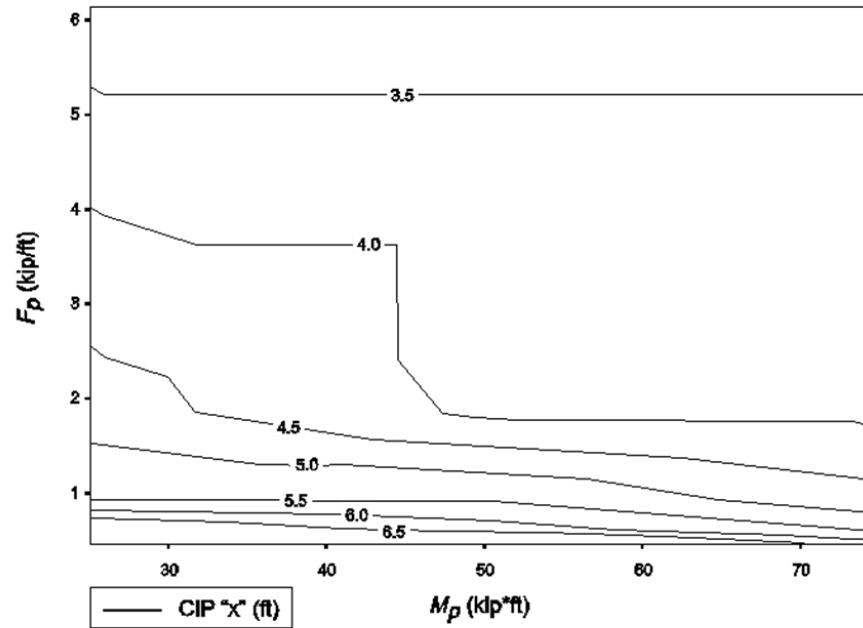
VER FIGURA 2-1 PARA "x"

Figura 2-8. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 10, Niveles de Ensayo 3, 4, 5 y 6 (TL3, TL4, TL5 y TL6)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Nivel de Ensayo 1 (TL1)



Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Nivel de Ensayo 1 (TL1)

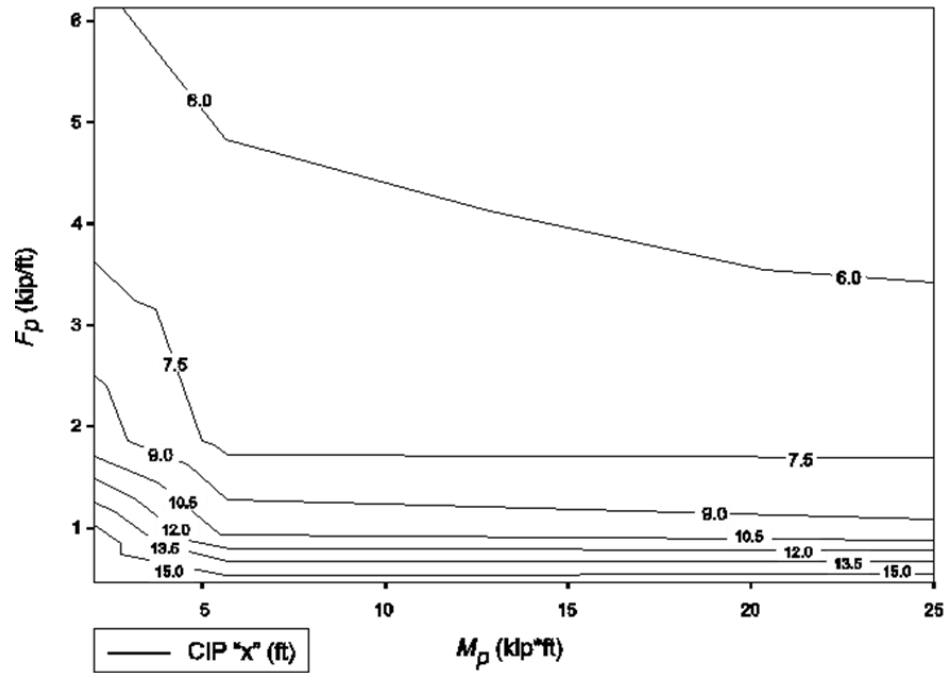


VER FIGURA 2-1 PARA "X"

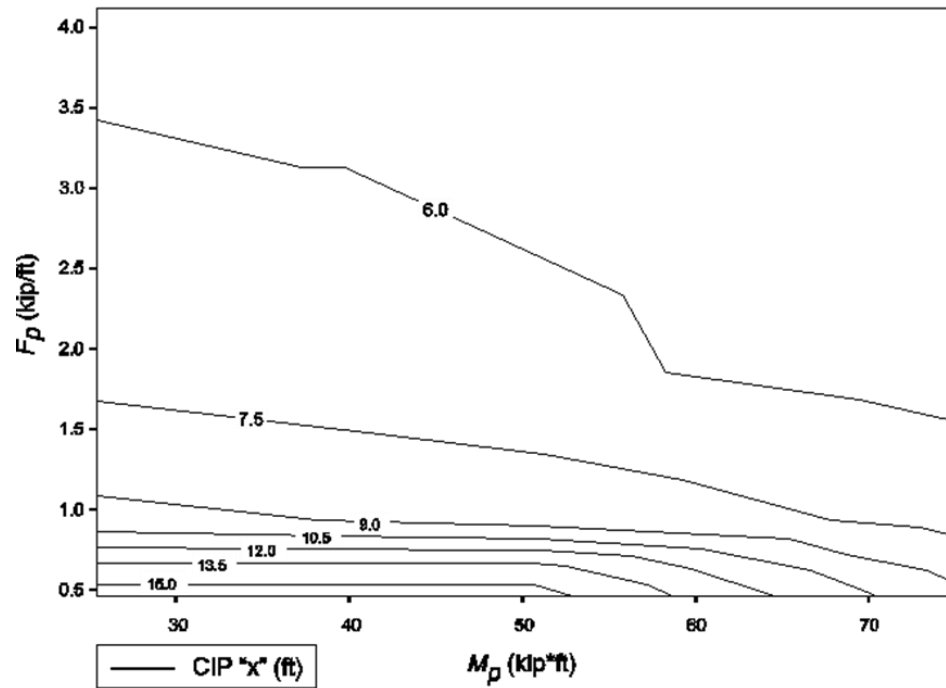
Figura 2-9. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Nivel de Ensayo 1 (TL1)



Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Nivel de Ensayo 2 (TL2)



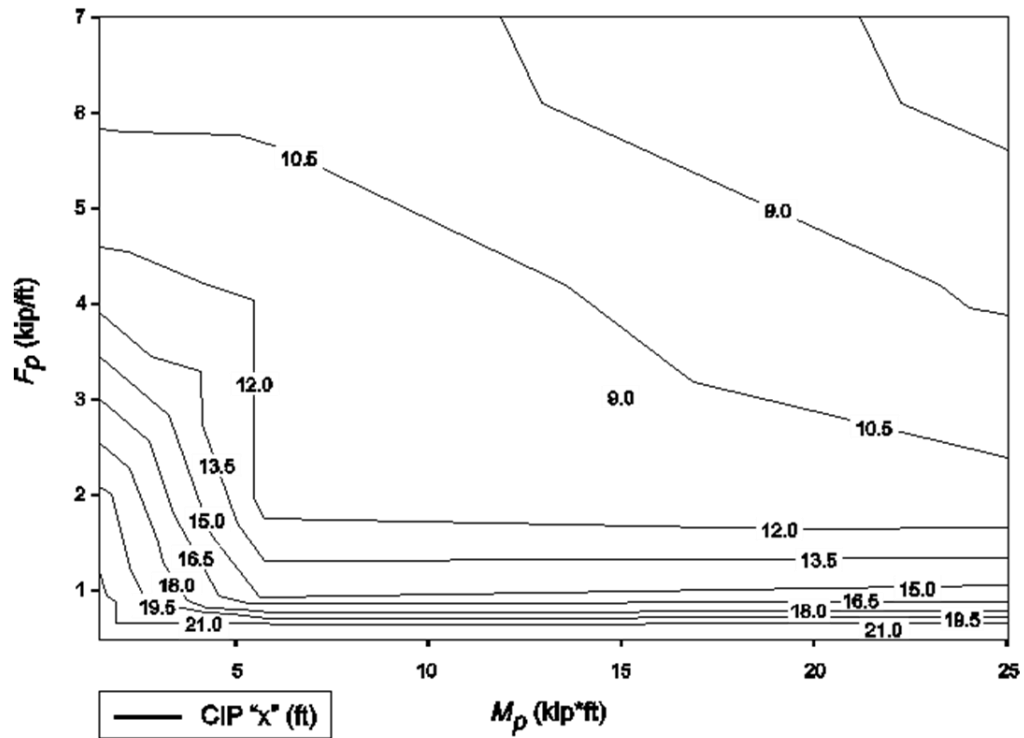
Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Nivel de Ensayo 2 (TL2)



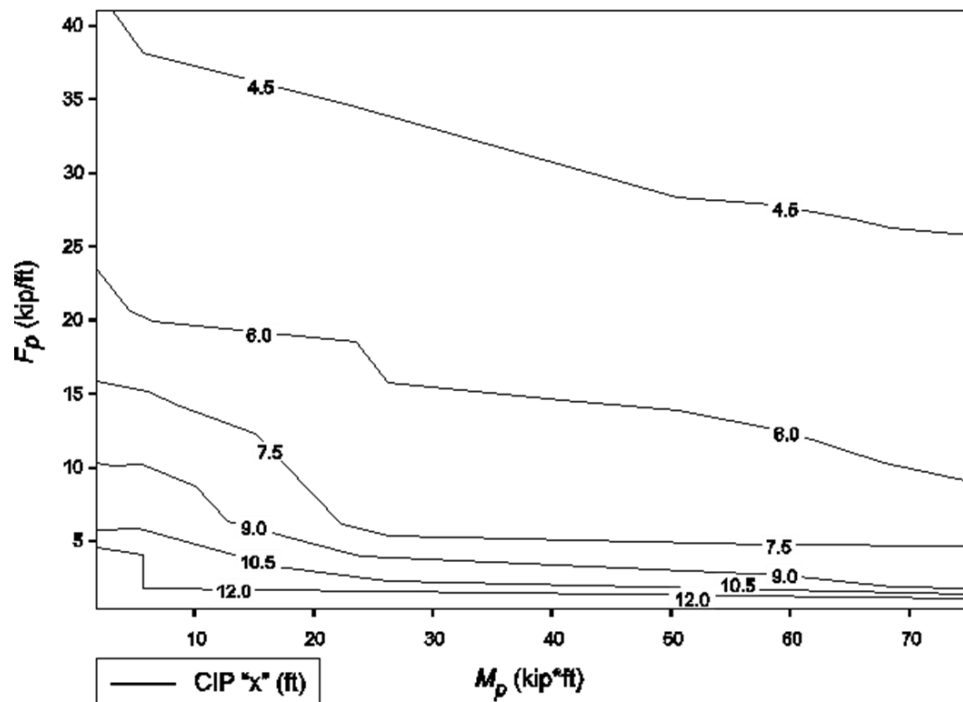
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-10. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Nivel de Ensayo 2 (TL2)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)

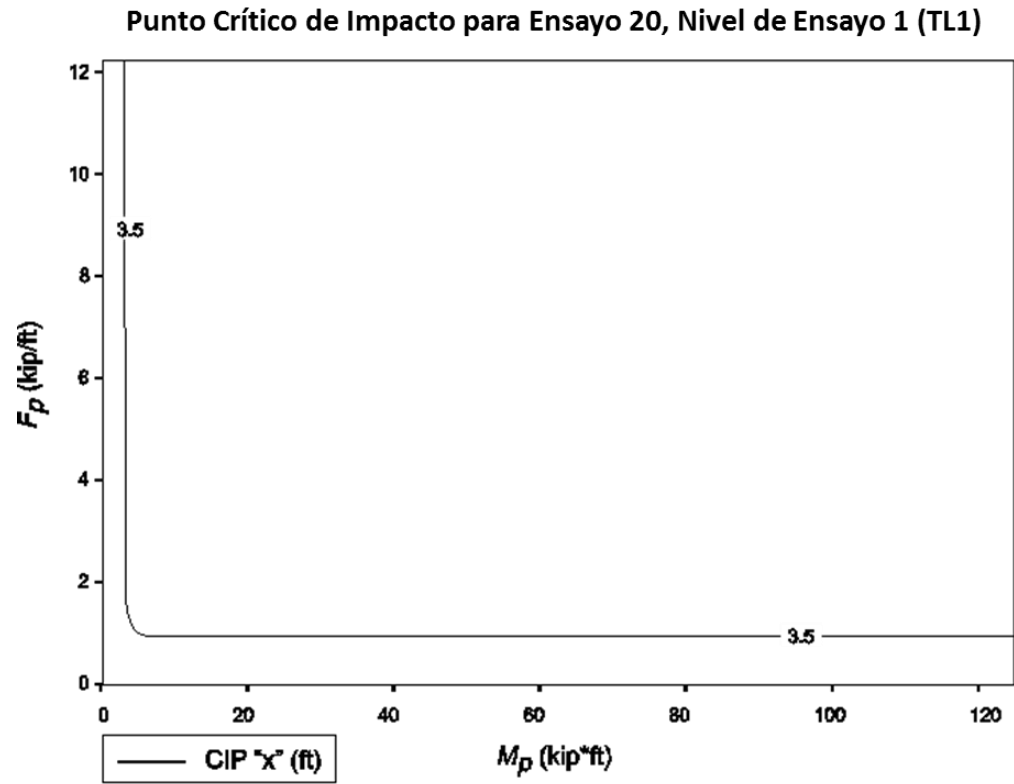


Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)



VER FIGURA 2-1 PARA "X"

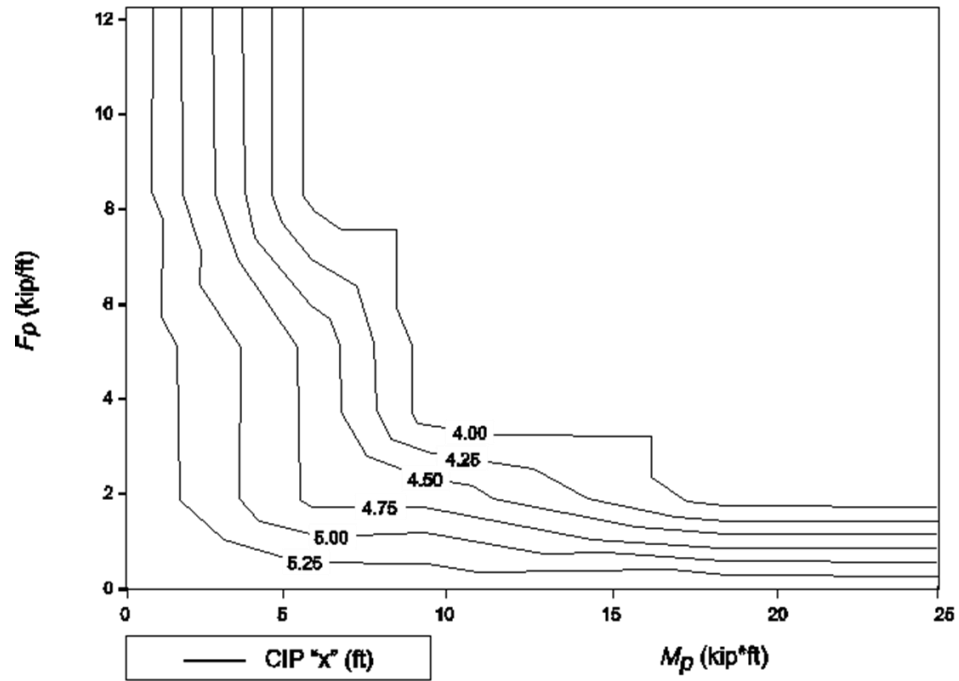
Figure 2-11. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 11, Niveles de Ensayo 3, 4, 5 y 6 (TL3, TL4, TL5 y TL6)



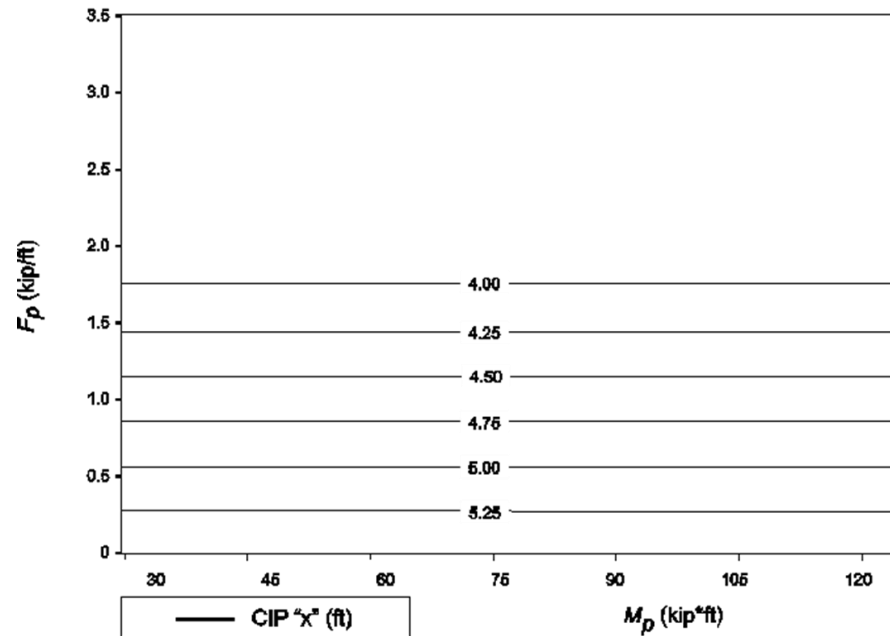
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-12. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Nivel de Ensayo 1 (TL1)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Nivel de Ensayo 2 (TL2)



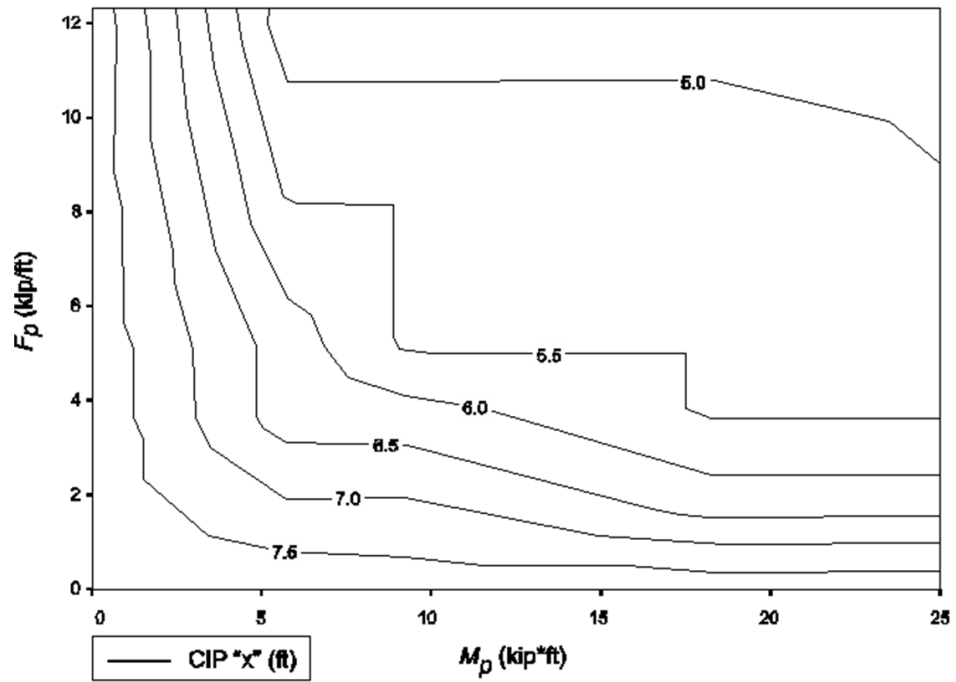
Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Nivel de Ensayo 2 (TL2)



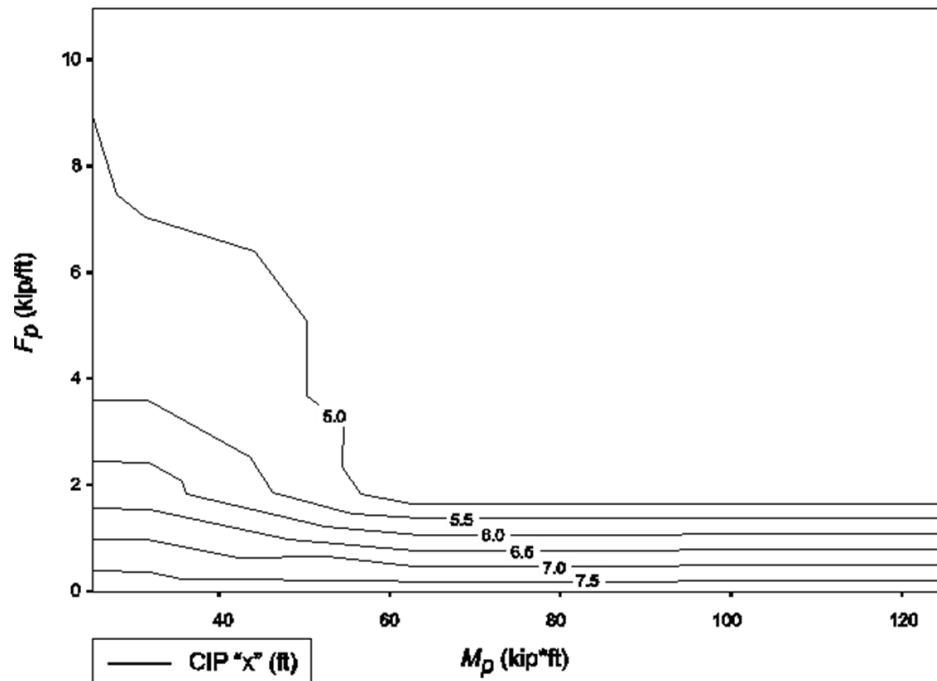
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-13. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Nivel de Ensayo 2 (TL2)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)

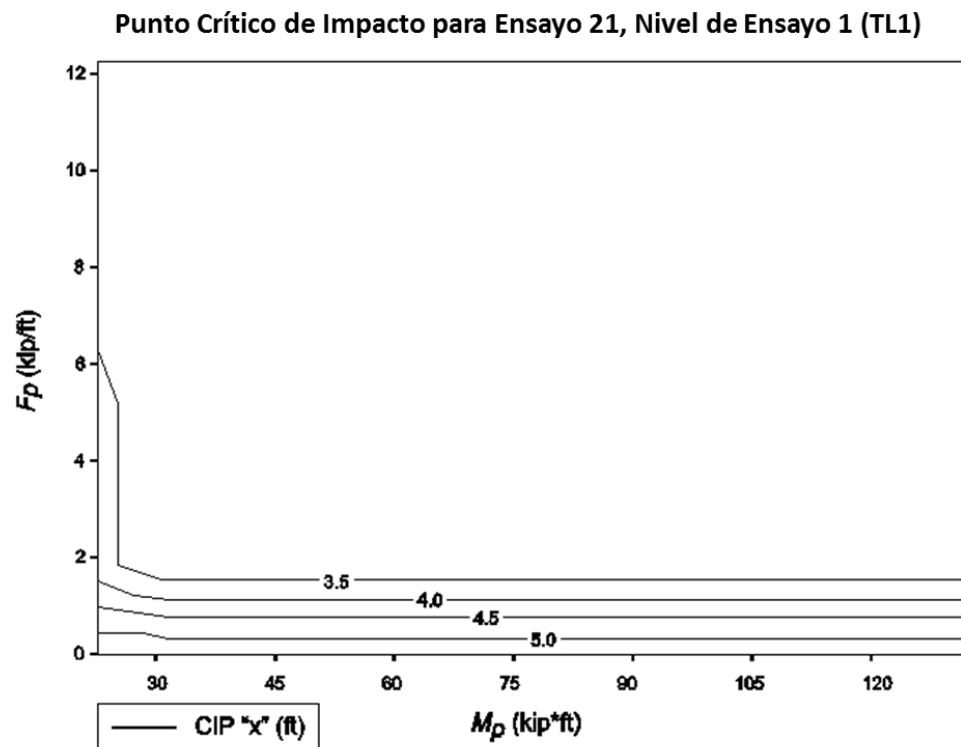
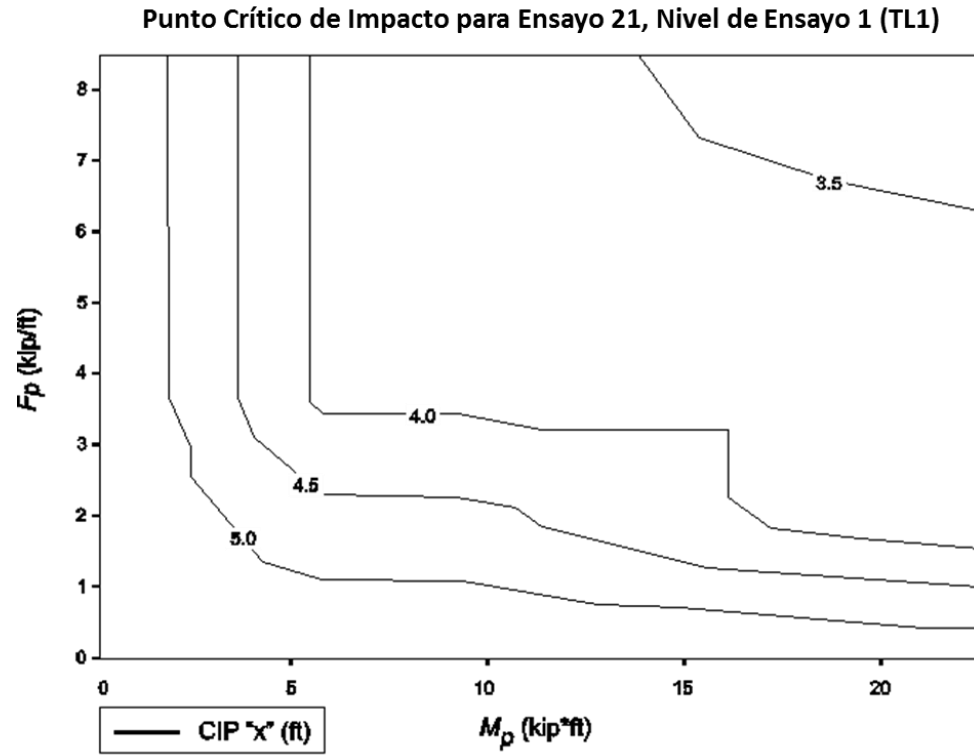


Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)



VER FIGURA 2-1 PARA "X"

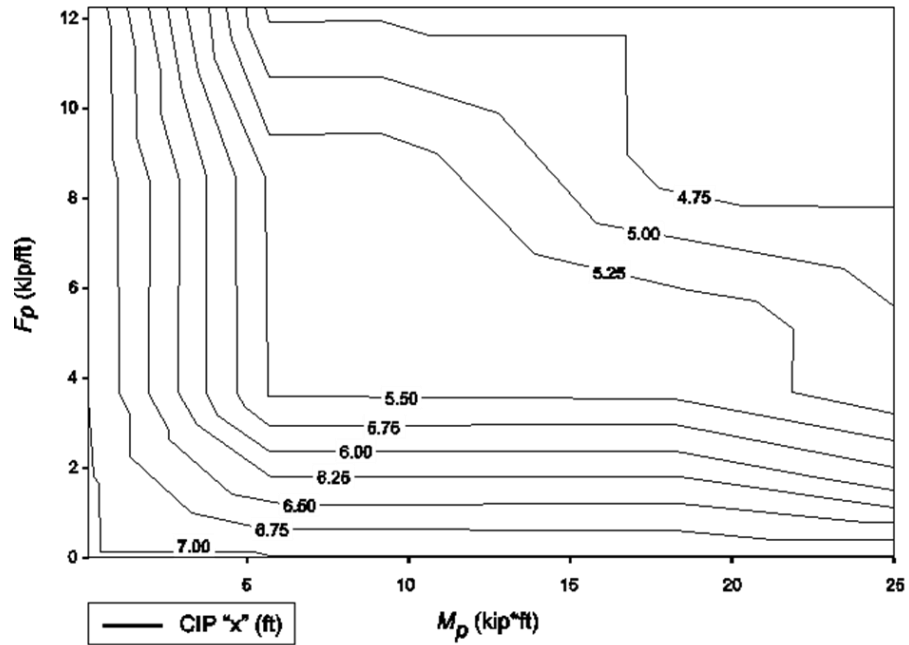
Figura 2-14. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 20, Niveles de Ensayo 3, 4, 5 y 6 (TL3, TL4, TL5 y TL6)



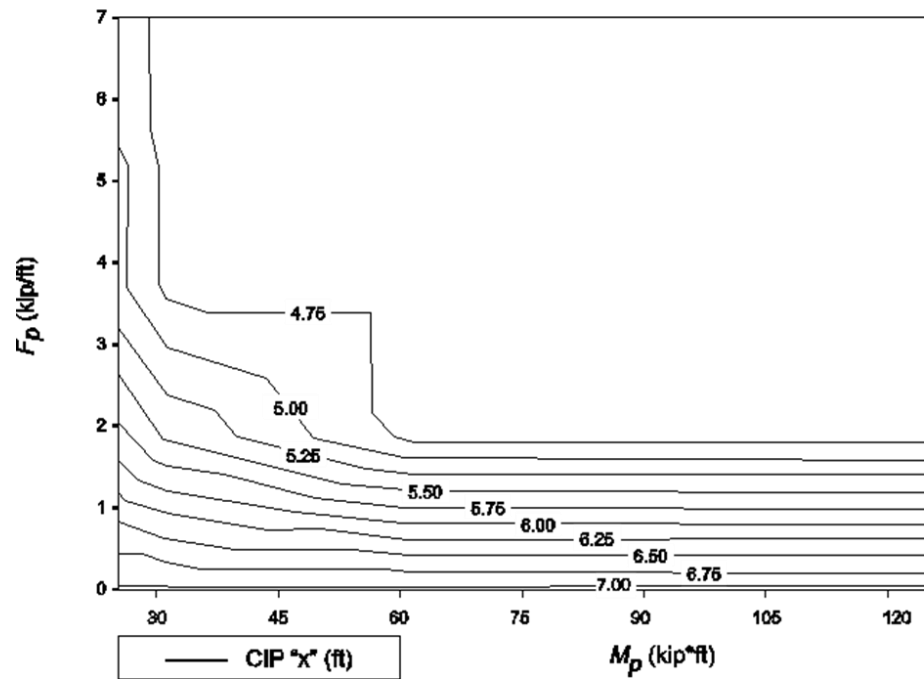
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-15. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Nivel de Ensayo 1 (TL1)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Nivel de Ensayo 2 (TL2)



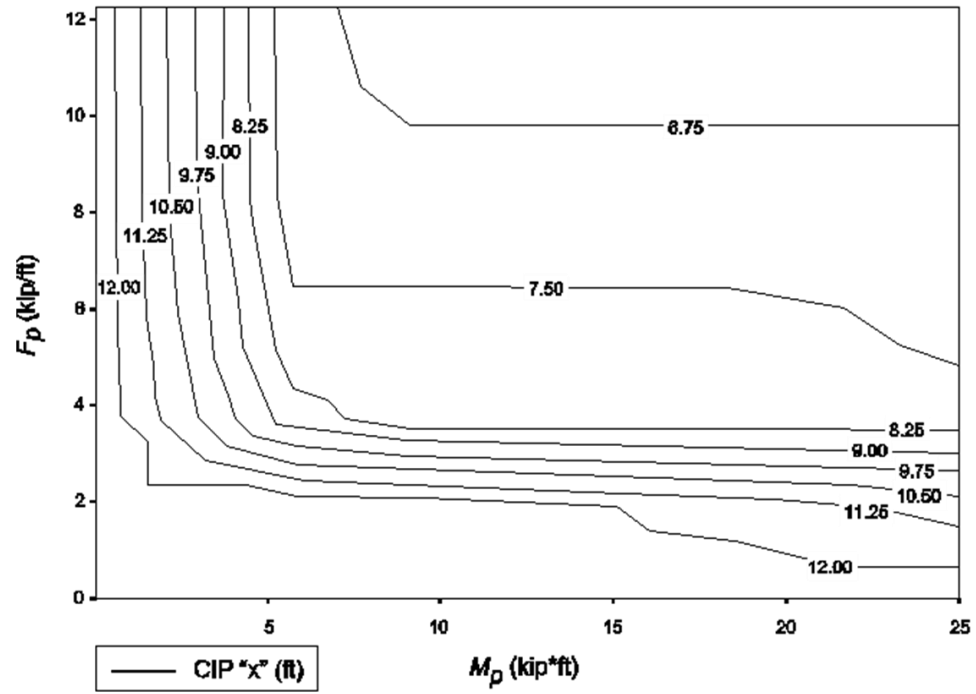
Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Nivel de Ensayo 2 (TL2)



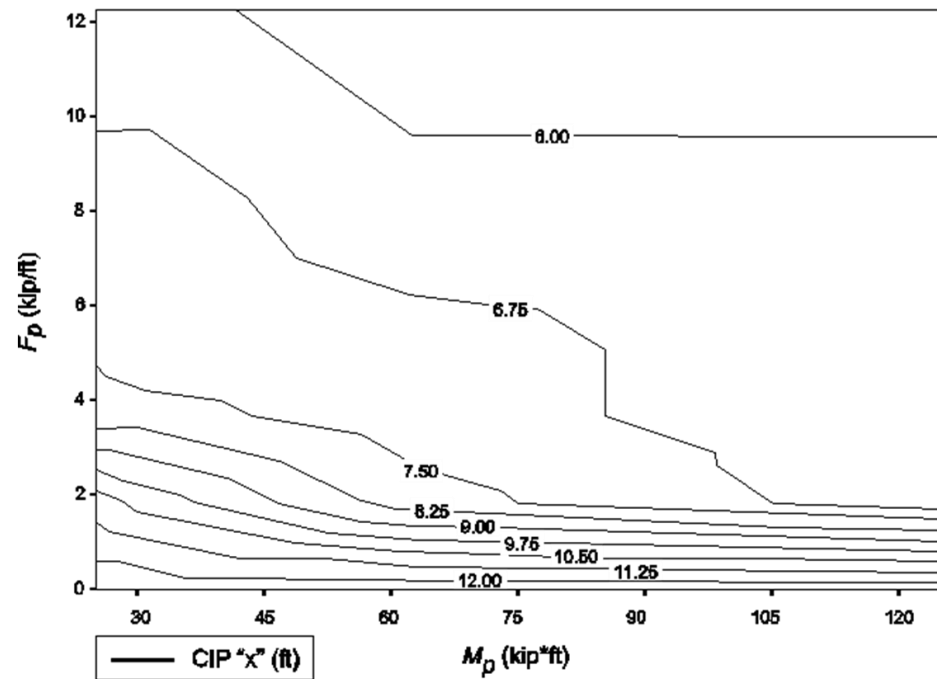
VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figura 2-16. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Nivel de Ensayo 2 (TL2)

Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)



Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Niveles de Ensayo 3, 4, 5, 6 (TL3, TL4, TL5, TL6)



VER FIGURA 2-1 PARA "X"

Figure 2-17. Punto Crítico de Impacto para Ensayo 21, Nivel de Ensayo 3, 4, 5 y 6 (TL3, TL4, TL5 y TL6)



### 2.3.2.2 Ensayos con los Vehículos 10000S, 36000V y 36000T

Los camiones grandes no exhiben la misma sensibilidad a los enganches de la rueda como los automóviles o las camionetas. Por lo tanto, el punto crítico de impacto para estos vehículos debe ser elegido para maximizar la carga en los elementos críticos de la barrera como las juntas o las uniones. Las ubicaciones de los CIP para los camiones pesados se estiman mediante los resultados de ensayos de choque en escala real de muros instrumentados en posición vertical y se miden desde el punto de contacto hasta el punto de carga máxima. La Tabla 2-8 muestra los CIP estimados para los impactos de camiones pesados con barreras rígidas. Se indican valores de  $x$  ligeramente mayores para las barreras no rígidas o barreras de concreto conformadas.

Nótese que los valores positivos de  $x$  indican que el punto de carga máximo está aguas abajo del punto de impacto y los valores negativos indican que está aguas arriba del punto de impacto. Cuando sea practicable debe utilizarse la simulación por computadora para refinar las estimaciones mostradas en la Tabla 2-8. Cabe mencionar que se llevaron a cabo pocas evaluaciones con el vehículo 10000S y, por lo tanto, las ubicaciones del CIP recomendadas están basadas en la evaluación con el camión más chico recomendado en el Reporte NCHRP 350. Mientras la experiencia de prueba con los nuevos vehículos aumenta, las agencias deben refinar las estimaciones de CP mostradas en la Tabla 2-8

**TABLA 2-8. Punto crítico de Impacto para los Ensayos de Vehículos Pesados**

Designación de la Ensayo <sup>a</sup>	Distancia de $x$ , <sup>b</sup> Pies (m)
4-12	5.0 (1.5)
5-12	-1.0 (-0.3)
6-12	2.0 (0.6)

a Ver Tabla 2-2 para las descripciones de los ensayos.

b Ver Figura 2-1 para la ilustración de la distancia  $x$ .

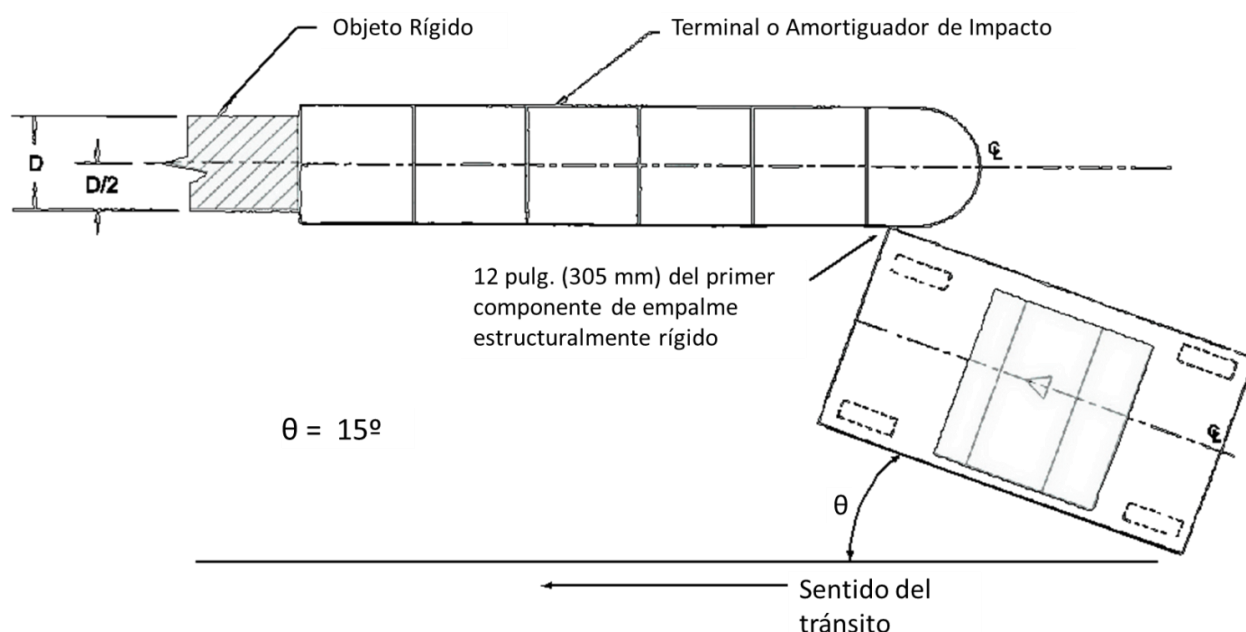
## 2.3.3 TERMINALES Y ARMOTIGUADORES REDIRECTIVOS

Las terminales y los amortiguadores redirectivos pueden tener hasta cuatro ensayos donde se necesita determinar los CIP – Ensayos 34, 36, 37 y 44. Los métodos para elegir las ubicaciones de CIP para cada una de estas pruebas están resumidos en las siguientes secciones.

### 2.3.3.1 Ensayo 34

Este ensayo está diseñado para evaluar el potencial de inestabilidad vehicular cuando los automóviles chicos impactan contra el costado de una terminal o amortiguador de impacto cerca del comienzo del sistema. Para esta prueba, el CIP se define como el punto en el cual el comportamiento de la terminal o amortiguador de impacto cambia de redirigir el vehículo impactante, a capturar el vehículo o permitirle traspasar el sistema.

Para los guardarraíles de postes y vigas, esta definición implica que el CIP es el punto más lejano de la cabeza del impacto donde un vehículo que impacta romperá el poste más cargado. En el caso de estas terminales y amortiguadores de impacto, los programas de computadora, como el BARRIER VII y el LS-DYNA, pueden ser usados para estimar este punto. El programa BARRIER VII ha sido empleado para identificar los CIP para las terminales de guardarraíles W tangentes, montados con postes de madera de 6 pulgadas por 8 pulgadas (150 mm por 200 mm) y se llevó a cabo un ensayo de choque a escala real para evaluar los resultados. La simulación original indicó que el CIP debe estar entre el poste principal y el punto donde el soporte del anclaje del cable está unido a la baranda. Después de estudiar los resultados de la simulación y un solo ensayo de choque a escala real, se recomienda que el CIP para terminales de guardarraíles tangentes debe estar aproximadamente a una distancia de 1 a 2 pies (0,3 m a 0,6 m) hacia el final del poste principal. Los postes frangibles pueden tener un desempeño diferente. El BARRIER VII o el LS-DYNA debe usarse, cuando sea practicable, para determinar las ubicaciones específicas para la terminal o amortiguador de choque en evaluación. La mayoría de los amortiguadores no traspasables usan diafragmas relativamente rígidos que proveen soporte sólido para los paneles redireccionativos. Como resultado, los vehículos serán redirigidos incluso chocando a unas pulgadas más allá del comienzo del primer panel de plena resistencia. Por lo tanto, el CIP debe ser considerado como ubicado aguas arriba del comienzo del primer panel de plena resistencia. Los programas de análisis de elementos finitos detallados, como el LS-DYNA, pueden ser usados para ayudar a estimar el CIP para estos sistemas. La Figura 2-18 expone una condición de impacto recomendada para los amortiguadores no traspasables, que puede ser utilizada cuando el modelo detallado no está disponible.



**Figura 2-18. Punto Crítico de Impacto para el Ensayo 34 sobre los Amortiguadores no Traspasables**

### 2.3.3.2 Ensayo 36

Este ensayo está previsto para evaluar la transición entre un amortiguador de impacto y una estructura de respaldo rígida, semi rígida o el final de una barrera. La principal preocupación para esta prueba es que el amortiguador de impacto no proveerá la rigidez suficiente para prevenir severos enganches de la rueda o el embolsamiento al final del sistema rígido. El LS-DYNA u otros códigos de elementos finitos pueden ser usados para determinar el punto crítico de impacto para esta prueba. Cuando sea práctico, estos modelos deben ser

empleados para seleccionar el CIP para el Ensayo 36. Hasta este momento, se llevaron a cabo pocos estudios para identificar puntos críticos de impacto para estos sistemas. Se espera que los amortiguadores de impacto asegurados contra los movimientos laterales mediante cables u otros sistemas moderadamente flexibles tengan un CIP a una distancia entre 9 y 11 pies (2,7 m y 3,4 m) de una estructura de soporte rígida. Los sistemas anclados contra el movimiento mediante diafragmas fijados directamente a un muerto de concreto o rieles de acero colocados en el suelo son ejemplos de amortiguadores rígidos que deben tener un CIP a una distancia entre 7 y 9 pies (2,1 m y 2,7 m). Cuando sea posible debe ser utilizada la modelación con sistemas de elementos finitos para identificar el punto crítico de impacto para el Ensayo 36.

#### **2.3.3.3 Ensayo 37**

Este ensayo está diseñado para evaluar el comportamiento de los amortiguadores de impacto y terminales durante los impactos en reversa. Como se discutió previamente, las ubicaciones de los CIP para los impactos en reversa varían enormemente de un sistema a otro y no hay un sistema generalizado para identificar estas ubicaciones. Para la mayoría de los amortiguadores de impacto con paneles de defensa contra el tránsito opuesto, el CIP debe ser seleccionado para maximizar el riesgo de un enganche de la rueda al final del último panel de defensa. Muchos amortiguadores de impacto sujetos a barreras de concreto incorporan una sección ahusada entre el amortiguador más ancho y la cara de la barrera más angosta. En esta situación, el Ensayo 37 debería configurarse normalmente para golpear primero la barrera o la sección ahusada, con el fin de maximizar la posibilidad de enganche. Para las terminales de postes y vigas que utilizan un sistema de cables, el punto de impacto debe ser seleccionado para maximizar el riesgo de enganche del vehículo cerca del cable del anclaje. Finalmente, para las barreras flexibles, el punto crítico de impacto debe ser seleccionado para maximizar el riesgo de un o más elementos longitudinales, como un cable, se monte sobre el frente del vehículo impactante. Esta situación maximizaría el riesgo de que la terminal enganche la parte frontal del vehículo.

#### **2.3.3.4 Ensayo 44**

El Ensayo 44 está diseñado para evaluar la habilidad de un amortiguador no redirectivo para detener un automóvil grande en un impacto lateral. El CIP es seleccionado para maximizar el riesgo del vehículo impactando la estructura de respaldo. Para los amortiguadores no redirectivos que realmente no tienen capacidad redirectiva, la línea central del vehículo de ensayo debe ser dirigida hacia la esquina del obstáculo escudado. Sin embargo, si el amortiguador no redirectivo posee capacidad redirectiva, se deben seguir las pautas generales para determinar las ubicaciones de los CIP presentes en la Sección 2.3.3.2 para el Ensayo 36.

### **2.4 IMPACTO LATERAL**

Todas las pautas de desempeño ante el impacto publicadas hasta la fecha incluyen ensayos de choque que involucran vehículos en una trayectoria. En otras palabras, todas las pruebas están configuradas para tener al vehículo impactante desplazándose hacia un sistema de seguridad en el costado de la carretera sin virar ni producir algún deslizamiento lateral. Sin embargo, los análisis de datos de choques demuestran que aproximadamente la mitad de todos los choques por salida de la vía involucran vehículos haciendo desplazamientos laterales o virando al momento del impacto (41). Además, los estudios de datos de choques también aparentan indicar que el desempeño ante el impacto de los sistemas en los costados del camino puede ser afectado adversamente por el despiste en su comportamiento (84, 127).

Aunque los efectos de los impactos con despiste durante el desempeño ante el impacto de varios sistemas en los costados de la carretera no se comprenden completamente, está claro que los impactos laterales tienen mayor potencial de heridas graves para la mayoría de los sistemas de defensa angostos, como las grandes señales, postes de iluminación, amortiguadores de impacto angostos y terminales (116). El escenario de impacto lateral con el mayor potencial de lesiones involucra la puerta de un vehículo impactando contra el sistema de seguridad en un derrape de costado. En esta situación, el dispositivo de seguridad puede penetrar una larga distancia en el habitáculo con una alta posibilidad de golpear y herir a los ocupantes.

Si bien se desarrollaron dos conjuntos de pautas para los ensayos de choque en relación con los impactos laterales (114, 115), pocos sistemas de seguridad se diseñaron para acomodar impactos laterales. Además, se anticipa que las estructuras de soporte más largas, terminales y amortiguadores de choque fallarían cualesquiera sean las pautas de evaluación de impacto lateral referidas arriba.

En reconocimiento del estado preliminar del diseño de los sistemas de seguridad para acomodar impactos laterales, la falta de compatibilidad con el diseño del vehículo y de la siempre cambiante flota de vehículos, las pautas de evaluación de desempeño ante el impacto descriptas aquí no recomiendan específicamente ningún ensayo de impacto lateral. Se necesita investigación adicional para identificar estrategias para acomodar impactos laterales en sistemas angostos al costado de la carretera. Las pautas de ensayos de impacto laterales más recientes se pueden encontrar en *Medidas de Fuerza de Impacto de vehículos Pesados y Propiedades Inertes (Measurement of Heavy Vehicle Impact Forces and Inertial Properties)* (13). Se les recomienda a los interesados que lleven a cabo pruebas de choque en escala completa bajo estas pautas cuando sea posible, para poder construir un mejor conocimiento de la eficacia de los procedimientos propuestos y el desempeño ante los dispositivos de seguridad modernos durante impactos laterales.