

## Conocimientos Básicos sobre Dispositivos de Contención y Redirección de Vehículos

### Guía 5

# Barreras flexibles



Instalación de barrera flexible Ruta Nacional N°16 – Provincia del Chaco

ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRETERAS

## Conocimientos Básicos sobre DCRV

# GUÍA 5 Barreras Flexibles

## Contenidos

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2. CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA FLEXIBLE</b>	<b>4</b>
<b>3. ELEMENTOS COMPONENTES DEL SISTEMA</b>	<b>6</b>
3.1. CABLES	6
3.2. POSTES	7
3.3. ANCLAJES	13
3.4. UNIONES	16
3.5. SUELO DE FUNDACIÓN	18
<b>4. TIPOS DE BARRERAS FLEXIBLES</b>	<b>19</b>
4.1. SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN	19
4.2. SISTEMAS DE ALTA TENSIÓN	21
4.2.1. CABLES PARALELOS	21
4.2.2. CABLES ENTRELAZADOS	38
<b>5. VARIABLES DE LOS SISTEMAS</b>	<b>42</b>
5.1. UBICACIÓN	43
5.2. NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE LOS CABLES	49
5.3. TENSIÓN DE LOS CABLES y LONGITUD ENTRE ANCLAJES	51
5.4. LONGITUD ENTRE ANCLAJES Y DISTANCIA ENTRE POSTES	53
<b>6. CURVAS HORIZONTALES</b>	<b>56</b>
<b>7. CURVAS VERTICALES</b>	<b>60</b>
<b>8. TRANSICIONES</b>	<b>60</b>
<b>9. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>62</b>
9.1. RUTINA REGULAR	65
9.2. RUTINA DETALLADA	67
9.3. DESPUÉS DE CADA CHOQUE	70
9.4. INTERVENCIÓNES RECOMENDADAS FRENTE A UN CHOQUE	73
<b>10. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>76</b>

**Adriana Garrido**



Comisión de Seguridad Vial de la AAC  
MARZO 2016

## 1. Introducción

En nuestro país, a partir de la década del '70, se da la masiva instalación de “*barandas de defensas o barreras viales*”. La transculturación e importación de dichas barreras desde los EEUU, junto con otras técnicas viales reconocidas originarias del suroeste norteamericano, impulsó la instalación de las mismas a lo largo de miles de kilómetros de las redes de carreteras nacional y provinciales.

Hemos desarrollado en la Guía 1: “Introducción y Generalidades”, en la Guía 2: “Justificación y Selección de los sistemas de Contención”, en la Guía 3: “Barreras Semirrígidas” y en la Guía 4: “Barreras Rígidas”. En esta guía trataremos los sistemas de barrera flexibles, de muy poco uso aún en nuestro país pero muy difundidos en Estados Unidos, Canadá, Japón, Israel, Australia, Suecia y Nueva Zelanda.

En Estados Unidos, por ejemplo, las barreras de cables se han usado en autopistas por más de 60 años y su uso está en aumento. Este aumento es atribuible al éxito que ha tenido este sistema en impedir que los vehículos crucen la mediana, que se impacten contra un objeto rígido y a la reducción de la gravedad de los impactos, sumado a una rápida instalación y sencillo mantenimiento.



En el Norte de Estados Unidos y en países del Norte de Europa la difusión de su uso se propagó debido a que su diseño abierto y liviano permitía que la nieve lo atravesase en lugar de acumularse en la base como en los otros sistemas de barreras.

El uso de los cables de acero en el sistema de transporte se puede encontrar también en los buques portaaviones, en cable carriles y teleféricos, y ha sido altamente difundido en el automovilismo deportivo para protección de los espectadores.



El objetivo de la presente guía es brindar los lineamientos para la correcta selección, instalación y mantenimiento de las barreras flexibles, a efectos de que cumplan con su función de protección de los usuarios y no generen más conflictos que si no estuviesen.

## 2. Características de un sistema flexible

Los Sistemas Flexibles son los que más se deforman al ser impactados, disipando así gran parte de la energía. Justamente la mayor parte de la energía del impacto es absorbida por el sistema a través del gran aumento de tensión en los cables o viga w y la consecuente deformación de los mismos.

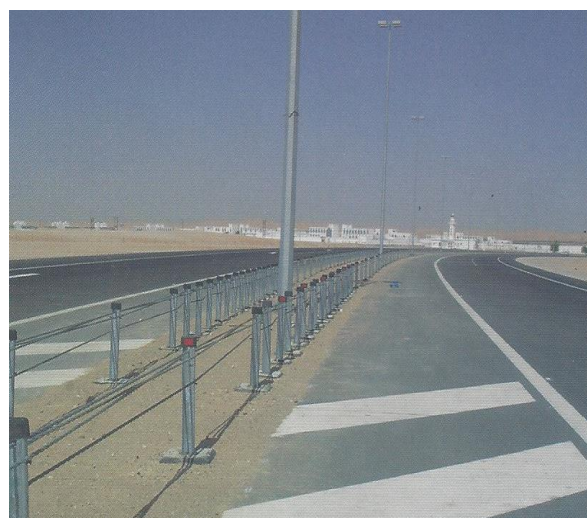
Los postes de los sistemas flexibles son débiles, ya que su presencia no contribuye a controlar la desviación lateral, sino que sólo colaboran en mantener la altura adecuada de los cables o viga, por lo cual la distancia entre ellos debe ser tal que permita mantener el elemento resistente a una altura constante.



En el caso de los cables la deformación después del choque es elástica, por ello la tensión de los mismos y la posición de los postes adyacentes no dañados proporcionan una parte sustancial de la resistencia lateral y contribuye al reencauzamiento de los vehículos al recuperar su forma después del impacto.

Por otro lado, esta gran deformación posibilita una menor desaceleración que redundaría en menores daños para los ocupantes de los vehículos.

También presentan ventajas en áreas con presencia de nieve, polvo o arena debido a que su diseño abierto evita la acumulación de estos elementos a lo largo de la barrera.



Para su correcto funcionamiento, las barreras flexibles requieren estar ancladas en los extremos, a través de bases de hormigón enterradas y anclajes de acero, que por su diseño resultan en general más indulgentes para los Usuarios que las terminales de otros sistemas de barreras.

La naturaleza elástica de la barrera reduce la gravedad del impacto, pero como contrapartida se generan deformaciones dinámicas mayores que las de barreras rígidas o semi-rígidas bajo las mismas condiciones. Por lo tanto, estos sistemas sólo pueden ser utilizados cuando la Zona Despejada por detrás de los mismos asegura que los vehículos no impactarán contra un objeto rígido o serán expuestos a una condición peligrosa.

El sistema posee otras limitaciones que serán explicadas en el capítulo correspondiente relativas a las curvas verticales y horizontales, anchos disponibles de medianas, pendientes de talud, entre otras.

Recordemos que sólo se deben instalar barreras cuando el daño esperado, en los usuarios y vehículos, al chocarlas, sea menor al daño que les ocurriría si la barrera no estuviera.

### 3. Elementos componentes del sistema

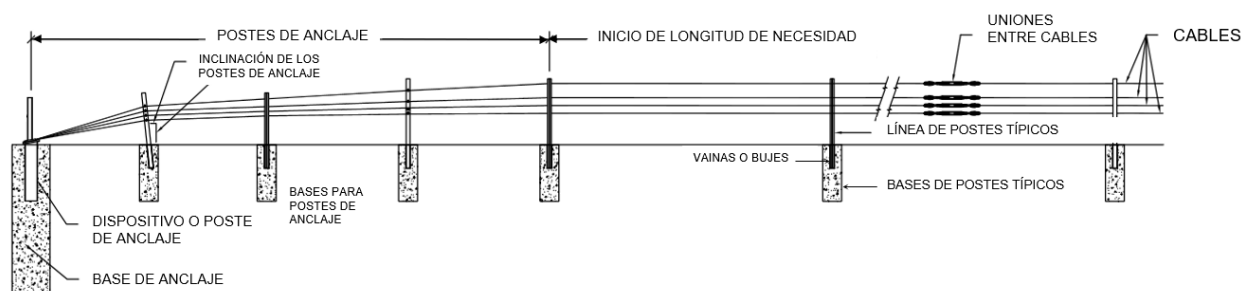
Las barreras de cable son dispositivos longitudinales para el costado del camino utilizados para contener y/o redirigir vehículos desviados de la carretera. Estas barreras redirigen o detienen gradualmente al vehículo mediante el estiramiento de los cables, minimizando las fuerzas sobre el vehículo y sus ocupantes.

Para que el comportamiento de las barreras sea efectivo, los elementos que lo componen deben tener determinadas características que garanticen su eficacia.

Todos los sistemas de barreras están compuestos de los siguientes elementos:

- Cables
- Postes
- Anclajes
- Terminales
- Uniones/tensores

Estos elementos pueden observarse en el siguiente esquema.



#### 3.1. CABLES

Todos los dispositivos de Defensa Flexibles utilizan cables de acero galvanizado cumpliendo la norma AASHTO M30-92 Tipo I Clase A con un resistencia a rotura mínima de 17,7 toneladas.

Luego del pretensado deberá presentar un módulo de elasticidad mínimo de 8.300kg/mm<sup>2</sup>.

Los cables están conformados por tres "cables" trenzados, cada uno de los cuales tiene a su vez un trenzado de 7 hilos, presentando un diámetro nominal de 19mm ( $\frac{3}{4}$ ").



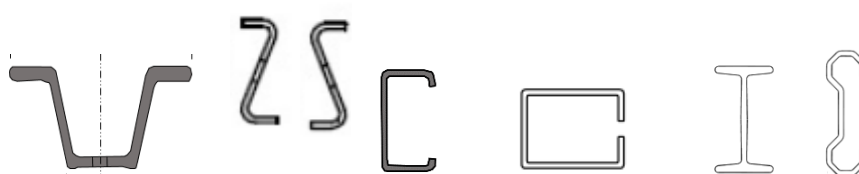
Los cables vienen en grandes bobinas, que en el caso de la fabricación estándar contienen hasta 300m, y en casos especiales hasta 1.000m de cable. Debe tenerse en cuenta que en el caso que una barrera requiera mayor longitud, los extremos de cables pueden ser unidos por medio de los dispositivos de unión fabricados por las mismas firmas.

Según el sistema a instalar existen limitaciones de longitud mínima, dado que los anclajes requieren una cierta extensión más allá de la longitud de necesidad para funcionar adecuadamente.

No existen limitaciones de longitud máxima, excepto las recomendables por las condiciones de la ruta: Accesos, cruces, curvas horizontales o verticales, etc..

### 3.2. POSTES

Una de las diferencias entre los distintos sistemas de Barreras de Cables disponibles en el mercado, es el tipo de Postes que utilizan. Los siguientes son esquemas de los diferentes perfiles que podemos encontrar:



Los postes son de acero galvanizado, y su forma y dimensiones son distintivas de la firma que posee la licencia. En la mayoría de los casos son postes débiles, ya que su presencia contribuye muy poco a la contención del vehículo, pero pueden darse casos en que se rigidizan para permitir menores deflexiones por las características



de los niveles de contención requeridos o imposibilidad de disponer de una mayor distancia de trabajo.

La principal función de los postes es el mantenimiento de la altura de los cables.



Poste NUCOR



Poste BRIFEN

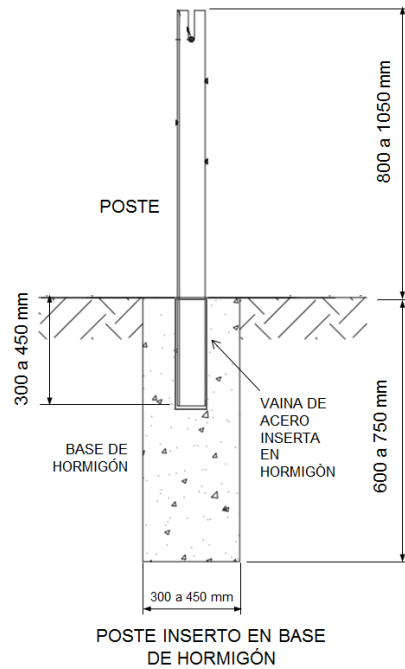


Poste TRINITY CASS

La longitud de los postes también varía en función del nivel de contención de la barrera y el tipo de vinculación con el suelo.

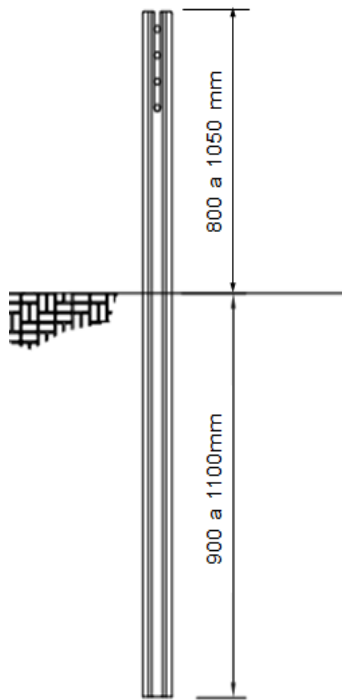
En el caso más habitual, que es con bases individuales de hormigón, los postes se colocan insertos en una vaina de acero de una altura entre 300 y 450mm, su longitud total oscila entre 1.300 y 1.600mm.





El hormigón debe fraguar durante siete días antes de ser sometido el sistema a tensión.

En el caso de postes hincados directamente en el suelo la parte enterrada de los postes tiene alrededor de 1.000mm, por lo que en la actualidad su longitud total puede estar entre 1.800 y 2.150mm.



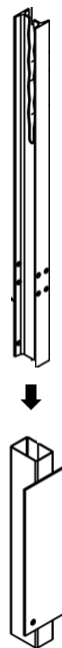
POSTE ENTERRADO  
DIRECTAMENTE EN EL SUELO



En casos especiales los postes también pueden ir hincados en el suelo con vainas de acero conductoras, con o sin una placa de refuerzo.



POSTE ENTERRADO CON  
VAINAS DE ACERO



POSTE ENTERRADO CON VAINAS DE  
ACERO REFORZADAS



Debe tenerse especial precaución en que las bases y vainas estén a plomo. Para ello debe usarse nivel y línea durante la instalación a efectos de que los postes queden perfectamente verticales y alineados entre sí.

En algunos diseños también está prevista la vinculación de los postes al pavimento cuando las condiciones del camino lo requieran. Existen diferentes alternativas según el proveedor del sistema:

Una opción es colocar el poste soldado a una placa de acero que se abulona al pavimento como se puede ver en la figura (a). Esta alternativa exige un espesor mínimo de carpeta asfáltica de 150mm.

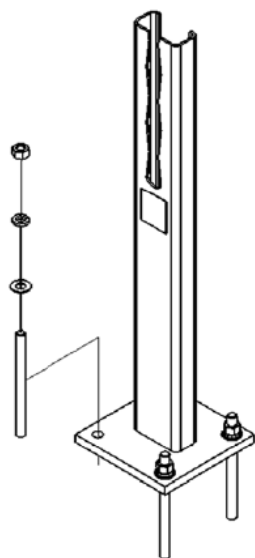


Figura (a)

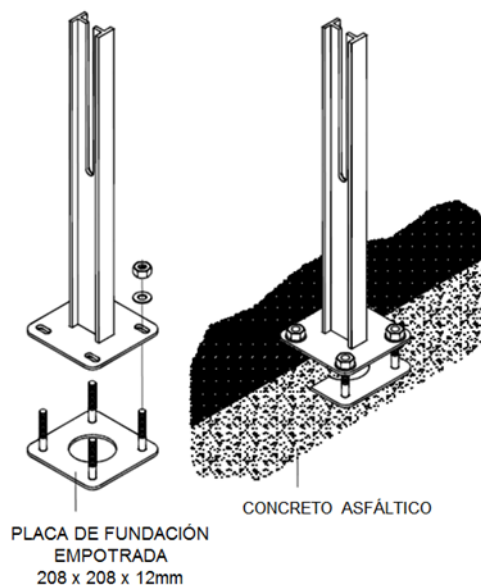
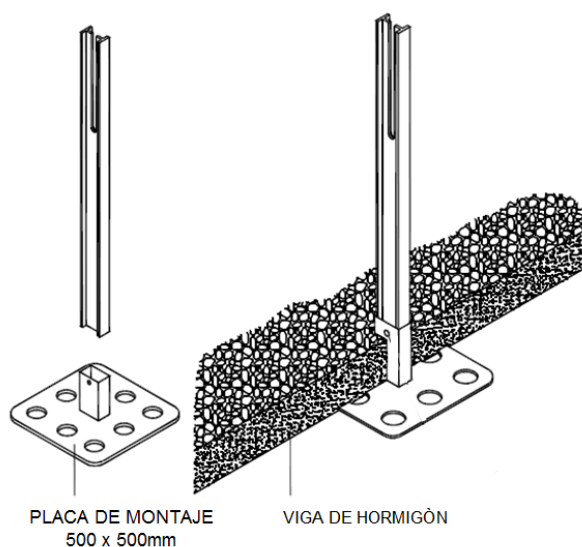


Figura (b)

Otra solución ofrecida es a través de una placa de acero por debajo de la capa asfáltica que se abulona al soporte del poste, tal como indica la figura (b).

Una alternativa ofrecida por algunas firmas, cuando los suelos no reúnen las condiciones de sostén requeridas por la NCHRP 350, es colocar los postes adosados a una placa de montaje que se ubica por debajo de una viga de hormigón continua.

Esta solución es utilizada en algunos casos para reducir el costo del corte manual de pasto alrededor de las barreras de cable y disminuir las discontinuidades del terreno natural. La viga de hormigón colabora en mantener las alturas adecuadas de los cables, pero es una opción muy cara, que puede costar tanto como la propia barrera.





El rango convencional de separación entre postes es de 2 a 4,6m. Esta separación incide directamente en las deflexiones del sistema, por ello se recomienda que cada proyecto especifique dicha separación en función de las características del camino, distancias de trabajo disponibles, presencia de curvas horizontales o verticales, etc..

Las alturas de los cables son críticas para el rendimiento del sistema. Si la calzada fuera repavimentada o reconstruida con un cambio de su rasante, es fundamental garantizar que los cables queden a la altura correcta y que la pendiente de aproximación no supere el máximo permitido. Para repavimentaciones significativas, puede ser necesaria la instalación de postes más largos, utilizando el resto de los elementos (bases, cables, anclajes) instalados originalmente.

### 3.3. ANCLAJES

Los extremos de todo sistema de Defensa de Cables deben estar anclados para mantener la tensión y funcionar adecuadamente.

Existen dos tipos de sistema de anclaje:

- Un bloque de hormigón con un anclaje de acero inserto en él, al que se vinculan todos los cables
- Un anclaje consistente en una base de hormigón y un poste especial para cada cable del sistema

El primer sistema utiliza un bloque de hormigón con una superficie en planta de aproximadamente 1 m<sup>2</sup> y de alrededor de 1m de profundidad.

Una pieza de anclaje de acero con un ángulo específico de anclaje se inserta en el hormigón. Esta pieza posee ranuras para sujetar cada extremo de cable.



Anclaje Gibraltar



Anclaje BRIFEN

El diseño de ranura abierta permite liberar los cables con facilidad, cuando razones de emergencia o mantenimiento lo requieran.

El ángulo en el que el cable se acerca al plano de la base es crítico, ya que los primeros postes del sistema estarán sometidos a tensiones horizontales, por ello casi todos los diseños presentan entre 4 y 10 postes especiales entre la base de anclaje y la longitud de necesidad de la defensa.



Sistema de Anclaje SAFENCE



Sistema de Anclaje GIBRALTAR

El segundo método de anclaje prevé una base de hormigón reforzado, una pieza y un poste de anclaje para cada cable. Esta solución se utiliza cuando no existe en la zona lateral el espacio suficiente para la gran base de anclaje que exige la primera alternativa.



Sistema de Anclaje NUCOR

En todo sistema de defensas de cables, la longitud entre el extremo de la base de anclaje y los postes de línea o típicos se considera la terminal, y debe ser sumada a la “longitud necesaria”.

La vinculación entre los cables y los dispositivos de anclaje se realiza a través de piezas especiales, que permiten a los cables quedar prensados y tensos, ya sea a través de un prensado en fábrica o bien a través de cuñas cuya función es comprimir al cable de tal forma que a medida que se incrementa la tensión la fuerza del prensado es mayor.



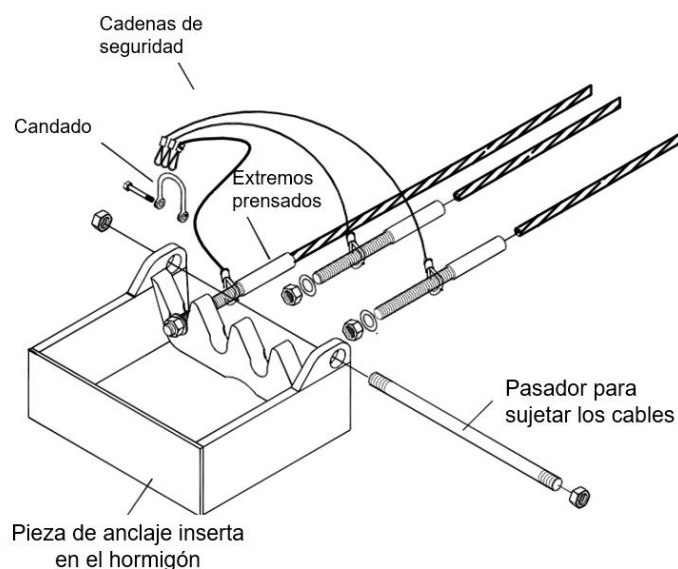




Cuña encapsulada para Sistema NUCOR



Cuña encapsulada para Sistema GIBRALTAR



Terminal con cables prensados SAFENCE

Todas las terminales de los sistemas patentados han sido evaluadas de acuerdo a la NCHRP 350, por lo cual pueden ser ubicadas dentro de la Zona Despejada.

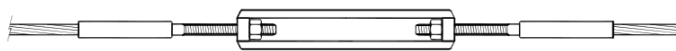
### 3.4. UNIONES O TENSORES

Tal como ya se dijo los cables vienen en grandes rollos cuya longitud estándar es de 300m, algunas de las firmas también proveen bobinas de longitud de hasta 1.000m.

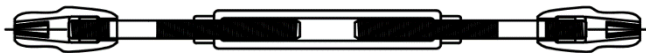
Sin embargo, pueden ser ejecutados tramos de barreras de mayor longitud, para ello están diseñadas las uniones que son piezas de acero, con las mismas características de las terminales, y cuya vinculación a los cables puede ser prensadas o bien con cuñas, tal como se ve en las siguientes figuras.



Estas uniones disponen de partes roscadas, y son utilizadas para regular la tensión de los cables.



Uniones SAFENCE con cables prensados



Uniones GIBRALTAR con cuñas



Ajuste de cables mediante Uniones NUCOR

Durante la instalación de la barrera debe verificarse que estas piezas de unión no queden coincidiendo con la posición de los postes, ya que esto generaría tensiones adicionales sobre el poste.



Posición inadecuada de las piezas de unión

### 3.5. SUELO DE FUNDACIÓN

El desempeño al impacto de las barreras de cables, como de muchos otros dispositivos de seguridad depende de la interacción dinámica suelo - estructura.

Esto es válido sobre todo para aquellas barreras con sus postes directamente enterrados en el suelo.

En ausencia de una especificación particular, se recomienda que los suelos en los que se instalen barreras de cables tengan las características de “Suelo Estándar” según la NCHRP 350, bien compactado y drenado.

Lamentablemente, las condiciones del suelo varían con el tiempo y lugar, incluso en zonas geográficas relativamente pequeñas. Por eso, profesionales especialistas deben evaluar si es probable que el dispositivo se instale en un terreno proclive a degradar sus características de desempeño.

Debe tenerse en cuenta que los movimientos de los anclajes pueden generar serias deficiencias en la eficacia de un sistema de barrera de cables. Frente a esa posibilidad las dimensiones de los anclajes y las bases individuales de los postes deben ser dimensionadas específicamente.

En Estados Unidos, donde está tan difundido el uso de estos sistemas, la mayor parte de los Estados requieren un análisis específico del suelo local para asegurar cimientos de anclaje y postes adecuados.

Los mayores fallos de los cimientos de anclajes en este tipo de barreras se han dado por la presencia de suelos saturados o con problemas de drenaje, cuando la barrera se instala en el fondo de la cuneta, o bien en zonas muy frías en las que las tensiones de los cables se incrementan hasta valores por encima de lo previsto, y sumado a suelos congelados pueden producir la falla del sistema por desprendimiento de los cables o deterioro de la base.



Dado que los tipos y las condiciones del suelo varían significativamente para diferentes ubicaciones, el tamaño de los anclajes deben definirse caso por caso.

Si los postes están insertos en bases de hormigón, éstas también deben dimensionarse para las condiciones del suelo y climáticas existentes, de modo de garantizar su buen comportamiento a lo largo de toda la vida útil de la barrera.

## 4. Tipos de Barreras Flexibles

Hay seis tipos de barreras de cable aceptadas por el Informe 350 de la NCHRP disponibles para ser usadas en Estados Unidos.

Se realizaron varias pruebas de choque a escala completa para evaluar estos sistemas y, basándose en los resultados, la FHWA emitió Cartas de Aceptación para ellas. La siguiente tabla enumera los diferentes sistemas y la correspondiente Carta de Aceptación de la FHWA y los Niveles de Prueba para los que fueron aprobados. Cada uno de estos sistemas está disponible en una gama de configuraciones con diferente número de cables, alturas, separación y tamaño de postes, empotramiento de postes, etc..

### Sistemas de barreras de cable actualmente disponibles

<b>Fabricante/Nombre del Producto</b>	<b>Carta de Aceptación N°</b>	<b>Nivel de Prueba NCHRP 350</b>
Tres Cables Postes débiles Baja Tensión Genérico	B-64, B-64 Sup, B-161	TL3
Vallas de Seguridad de Cable Trenzado BRIFEN	B 82 B82 A, B, B1, C, C1, D	TL3, TL4
Sistema de Barreras de Cable GIBRALTAR	B-137 B137 A, A1, B, C	TL3, TL4
Sistema de Barreras de Acero NUCOR	B-96, B96A, B167	TL3, TL4
Sistema de Barrera de cables SAFENCE (Gregory Industries Inc.)	B-88, B-88A-E	TL3, TL4
Sistema de Barreras de Cables TRINITY CASS	B-119, A, B B-141, A, B, C, D, E, F B-157	TL3, TL4

### 4.1. SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN

Antes de los recientes avances en tecnologías de barreras de cable, el diseño más común era el guardarrail de cable genérico también conocido como sistema de baja tensión. Los primeros Sistemas de Barreras de Cables con esta configuración datan de más de 60 años.





La mayoría de estos sistemas son genéricos y no han sido patentados. Aún están en uso pero están siendo paulatinamente reemplazados por los sistemas de alta tensión, ya que su eficiencia se anula frente a un impacto por la falta de tensión en los cables que quedan “colgando” e inclusive apoyados sobre el suelo cuando son dañados los postes.



Los sistemas genéricos de baja tensión pueden tener diferentes configuraciones, tanto la forma de los postes (postes S de acero, postes en U de acero o postes circulares de madera debilitados) como en las alturas de los mismos.

En los sistemas de baja tensión, cuando las barreras son utilizadas al costado del camino los cables siempre se colocan sobre el poste, del lado más cercano al tránsito. Cuando se colocan en medianas se alterna la posición de un lado u otro de los postes.

Un sistema de baja tensión basado en el diseño del estado de Washington (EUA) ha sido testeado en concordancia con las recomendaciones del Informe 350 de la NCHRP Nivel de Prueba 3 en el Instituto de Transporte de Texas. El sistema

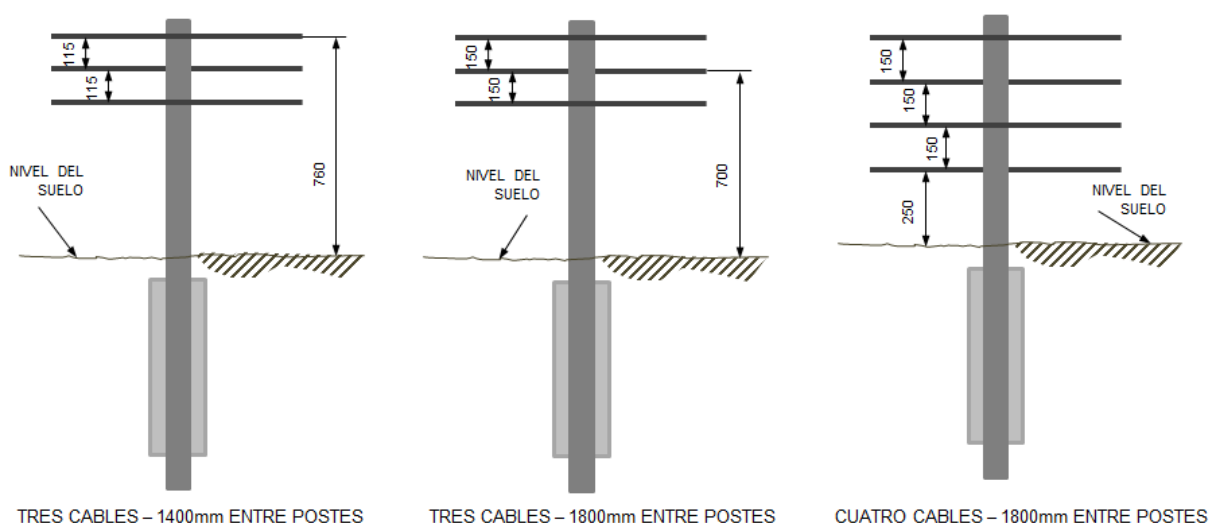


probado consistía de tres (3) cables de 19mm de 7 hebras de alambre galvanizado con una resistencia a la tensión mínima de 110kN. Los cables mantenían su altura adecuada a través de pernos de gancho que se abrían frente a un choque para permitir al estiramiento de los cables.

Unas placas de acero son soldadas a la parte inferior de los postes a 10cm del extremo inferior de los mismos.

Los postes con las placas soldadas son enterrados 851mm en el suelo.

Los extremos de los cables están vinculados al suelo a través de anclajes insertos en grandes bloques de hormigón de 1450mm x 1150mm x 990mm.



Muestra de alturas de cable para sistemas de barreras de cable genéricos

## 4.2. SISTEMAS DE ALTA TENSIÓN

Todos los sistemas de Alta Tensión están patentados por diferentes firmas.

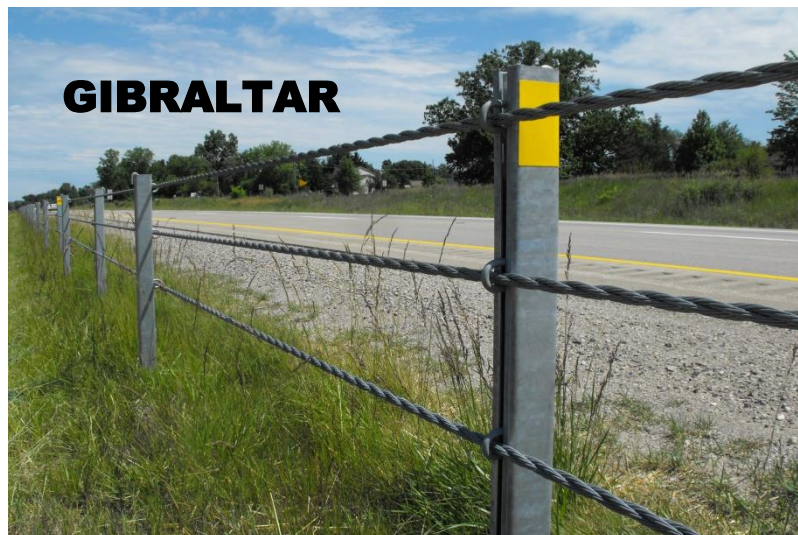
Dentro de la clasificación podemos encontrar dos tipos: Los de Cables Paralelos y los de Cables Entrelazados.

### 4.2.1. CABLES PARALELOS

Las principales diferencias entre las distintas marcas disponibles de Sistemas de Cables Paralelos consisten en el perfil de los postes, la forma de los anclajes y el tipo de dispositivo de sujeción entre cables y postes. Los cables utilizados en todos los sistemas son equivalentes: Cables de acero de 19mm de 3 x 7 hebras.



- Sistema de barrera de cable Gibraltar

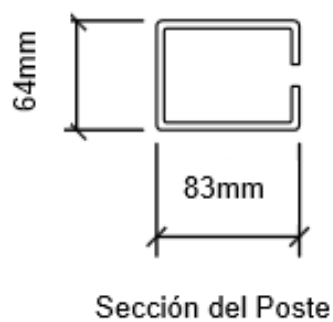


La barrera de cable Gibraltar ha sido probada de acuerdo a la NCHRP 350 y a la EN 1317 y está aceptada conforme a ambas normas.

La característica distintiva de este sistema es que los cables están unidos a los postes utilizando una sola horquilla de acero.

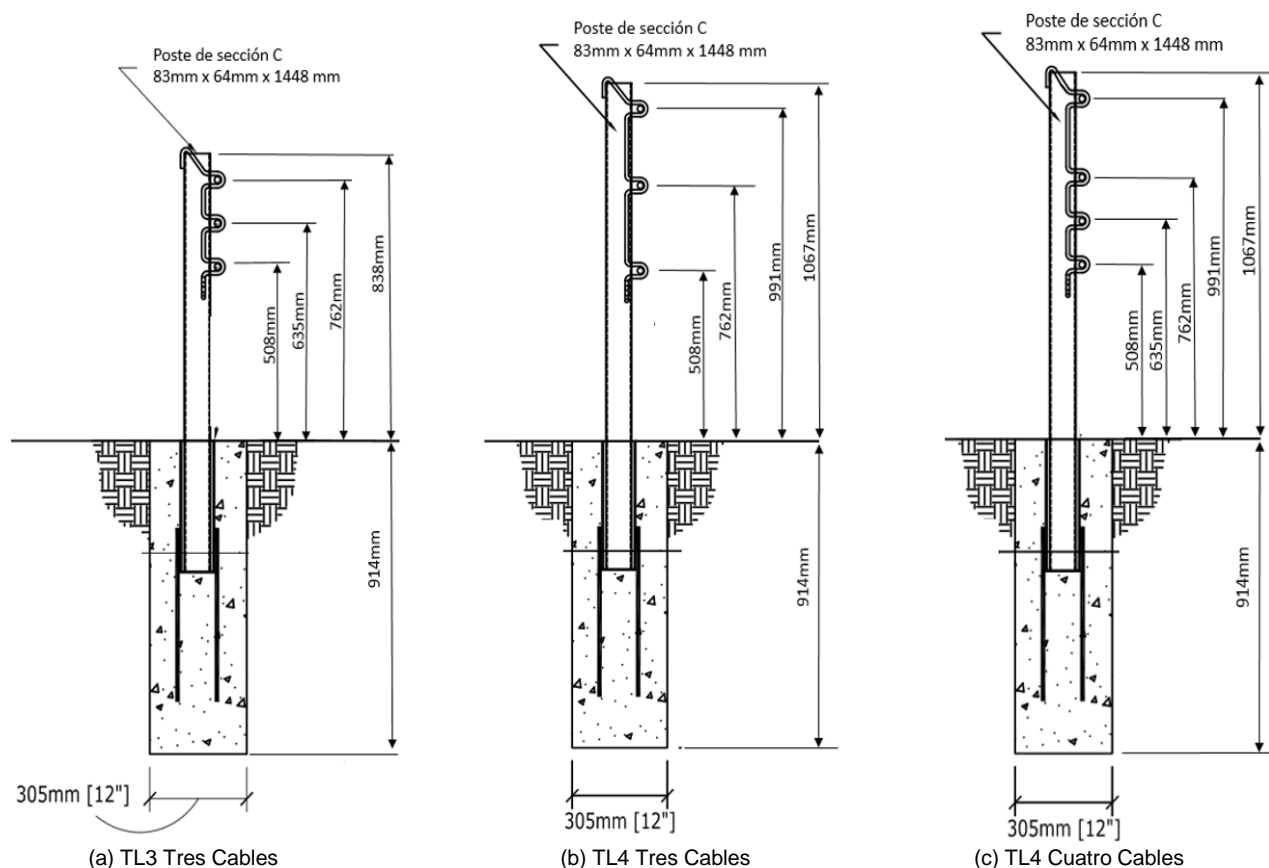


El sistema consiste de tres o cuatro cables de acero galvanizado de 19mm de 3 x 7 hebras. Los cables se conectan a postes que poseen una sección en C de 83 x 63,5 x 3,8mm.



Los postes se colocan alternando uno a cada lado de los cables, como puede verse en la foto. Los postes suelen estar insertados en vainas de acero empotradas en bases cilíndricas de hormigón reforzado. Con este sistema se puede utilizar una separación variada de los postes, de 3 a 9m.





La principal diferencia entre los sistemas TL3 y TL4 es la separación entre los cables y la longitud de los postes. Para el sistema TL3 de tres cables, las alturas de éstos son de 508mm, 635mm y 762mm desde el suelo, como se ve en la imagen siguiente (a). Para el sistema de tres cables TL4, las alturas son de 508mm, 762mm y 991mm, como se muestra en la imagen (b). Un tercer sistema de cuatro (4) cables se ha aceptado para condiciones TL4 (Carta de Aceptación B137b). Las alturas de los cables son de 508mm, 635mm, 762mm y 990mm, como se ve en la imagen (c).

El sistema de barrera de cable de Gibraltar puede ser instalado como una barrera de mediana o lateral, siempre que el talud posea una pendiente de 1:6 o más plano, sin depresiones ni obstrucciones, ya que esto puede tener un efecto en la estabilidad del vehículo o en su trayectoria. Resultaría entonces conveniente la nivelación del sitio, de modo que las alturas de los cables resulten compatibles con las alturas de diseño efectivas probadas.

Al instalar el sistema de barrera Gibraltar en una curva, este debe ubicarse en el lado convexo del carril de circulación, y a más de 4,5m del lado cóncavo del carril de circulación.

Las curvas horizontales del trazado deben tener un análisis especial, ya que para radios pequeños los detalles de instalación varían, pudiendo recomendarse el distanciamiento menor entre postes.

De acuerdo al tipo de suelo existente los postes pueden ser colocados con bases individuales cilíndricas de hormigón, zapatas continuas o enterrados, en cuyo caso los postes deben tener una longitud mayor alcanzando 1.067mm la parte enterrada.

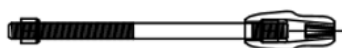


Defensas con bases individuales

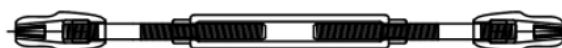


Defensas con zapata continua

Cuando resulte procedente, a lo largo de un mismo tramo de barrera pueden unirse diferentes cables para salvar una longitud determinada. Esto se realiza a través de las uniones de empalmes fabricadas específicamente para ello.



Rosca terminal



Uniones para empalmes de cables

Las terminales de cada tramo de baranda consisten en un gran bloque de hormigón con un dispositivo de acero convenientemente inserto en el hormigón, al cual se anclan las terminales diseñadas por la firma, y postes especiales con una inclinación especificada para transmitir paulatinamente las fuerzas de tensión sin generar esfuerzos laterales a los postes.





El terminal de Gibraltar está diseñado para especificaciones del suelo estándar de acuerdo a la NCHRP 350, bien drenado y compactado. En el caso de materiales que no respondan a estas especificaciones, deberán considerarse tamaños, profundidades y diseños especiales de anclaje que responderán a estudios de suelo particulares.

Todas las características y especificaciones de este sistema y sus anclajes pueden consultarse en la página web de la firma <http://www.gibraltarus.com>, estando disponibles los planos y manuales de instalación y mantenimiento.

- Sistema de Barrera de Cable de Acero Nucor

Los sistemas de barreras de cables de alta tensión NUCOR están aceptados en EUA para uso en rutas y autopistas, aprobados conforme a la NCHRP 350.



Con postes enterrados



Con Bases individuales de Hormigón

Se dispone de un sistema TL3 de tres cables (Carta de Aceptación B96 y B96A) y un sistema TL4 de cuatro cables (Carta de Aceptación B167). Ambos sistemas utilizan cables de acero galvanizado de 19mm de 3 x 7 hilos.



Tienen la particularidad de poseer postes con un perfil trapecial con perforaciones a lo largo de todo el poste, para facilitar la colocación de los ganchos con que se vincularán los cables.

La ubicación del sistema en el costado del camino prevé la colocación de todos los cables en la cara que mira al tránsito, en el caso de medianas se colocan alternados de un lado y del otro del poste.



Configuración de cables en Medianas



Ganchos de vinculación



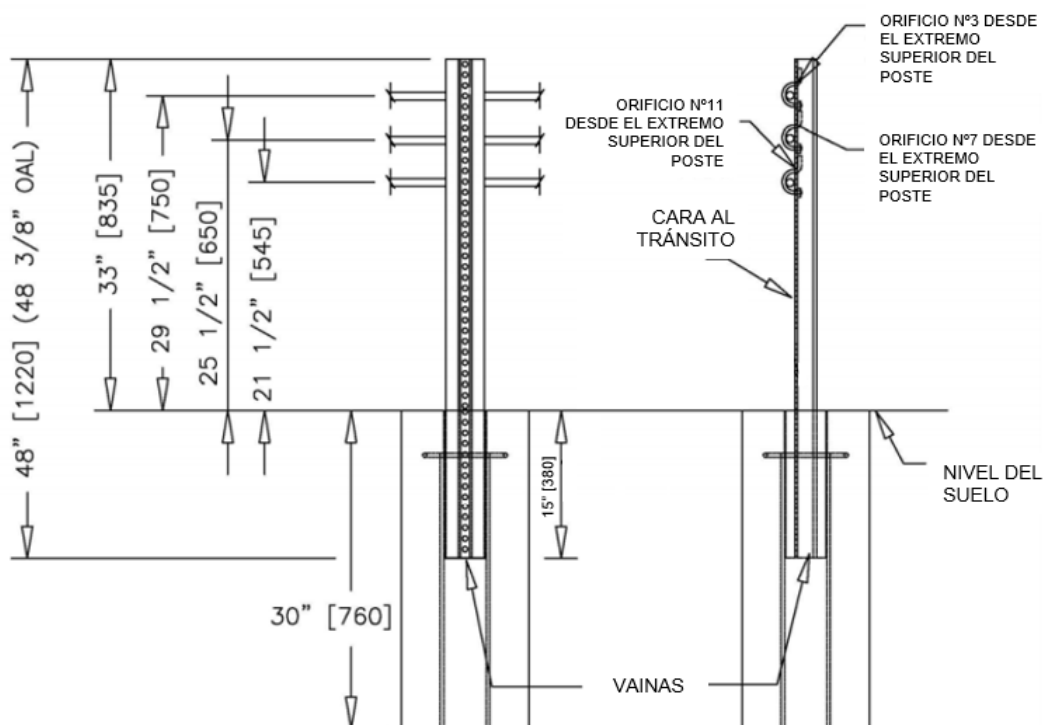
Configuración de cables al costado del camino



Ganchos de vinculación

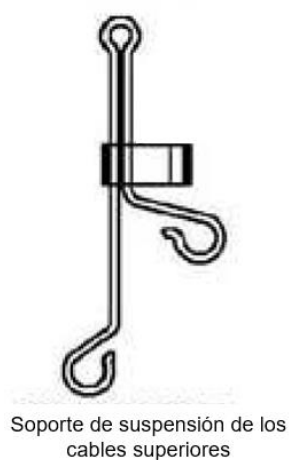
Para el diseño TL3 los cables se ubican a una altura de 545mm, 650mm y 750mm, como se muestra en la siguiente figura. El diseño TL3 se probó con tres separaciones: 2m, 3,8m y 5,1m. Todas las pruebas cumplieron los requerimientos

del Informe 350 de la NCHRP, con diferentes niveles de deformación. Se utilizaron dos tipos de inserción de postes: Enterrados con una placa subterránea en trapecio, y en una vaina de acero empotrada en un cilindro de hormigón de 300mm de diámetro.

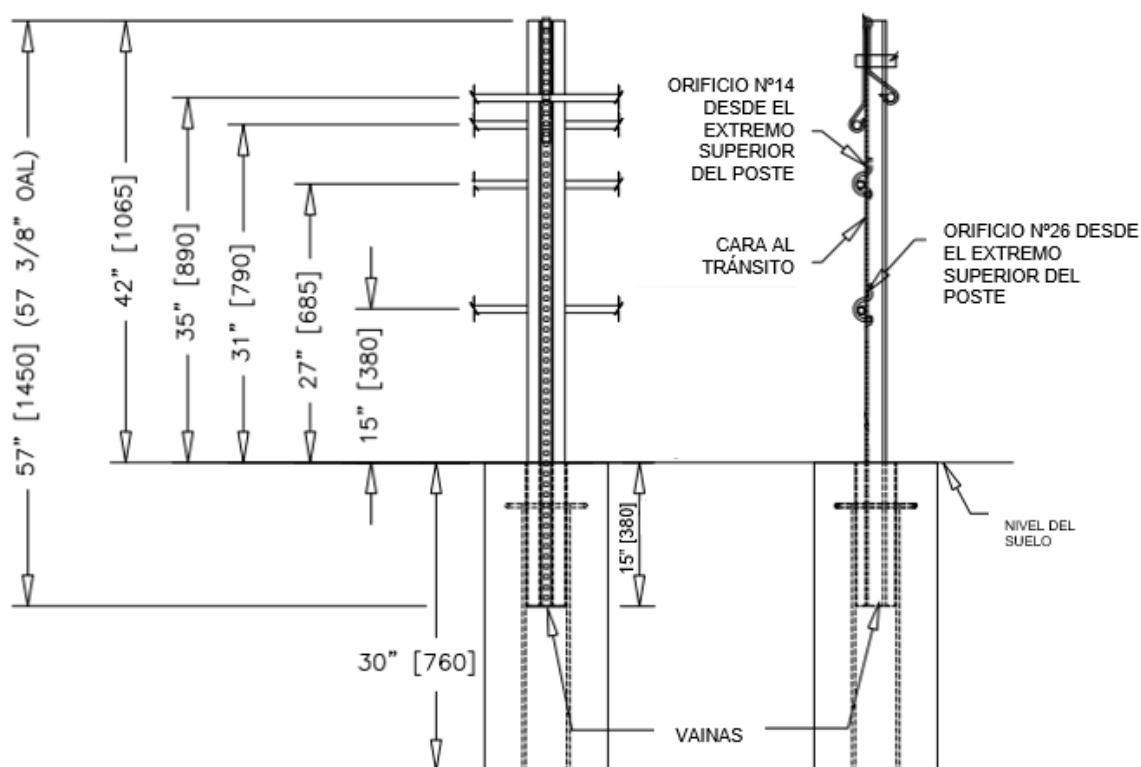


Altura de Cables para configuración TL3 – 3 cables – Costado del Camino

Para el diseño TL4, el cable inferior está a una altura de 380mm, el siguiente a 685mm y los cables superiores a 790mm y 890mm sujetos con un dispositivo especial, como se ve en la figura.



Los sistemas de colocación de los postes pueden ser con cimientos de hormigón individuales, como se muestra en la siguiente figura, en este caso cada poste está insertado en el piso en una vaina de plástico empotrada en bases cilíndricas de hormigón de 300mm de diámetro. La separación entre postes es de 6,1m.



Altura de Cables para configuración TL4 – 4 cables - en Medianas

El sistema permite otras alternativas para la colocación de los postes como por ejemplo enterrarlos directamente en el suelo, con o sin vainas de guía, y la zapata continua.



Sistema de Barreras NUCOR con Zapata continua

El sistema de anclaje de las Barreras NUCOR más convencional requiere una base y un poste especial de anclaje para cada cable, asimismo está especificada una



sucesión de postes especiales (entre 8 y 10 postes), más allá de la longitud de necesidad hasta las bases de anclaje.



Al igual que en los otros sistemas de barreras de cables de alta tensión deben verificarse las condiciones del suelo estándar según la NCHRP 350. Es necesario evaluar las características del suelo para la definición del tipo de base y sus dimensiones.

- Sistema de barrera de cable SAFENCE

SAFENCE es un sistema de barreras de cable que ha aprobado los niveles TL3 y TL4 de la NCHRP 350.



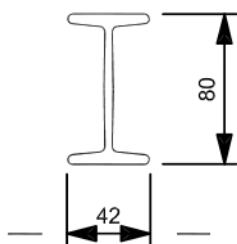
Como todo sistema de cable de alta tensión proporciona una deformación controlada del vehículo y menores daños a los ocupantes por las menores desaceleraciones a

que son expuestos. Puede utilizarse como una barrera de mediana o lateral. Los cables utilizados son de acero galvanizado de 19mm de 3 x 7 hilos.

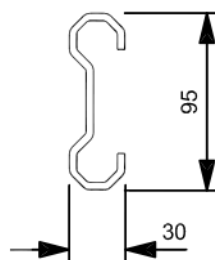
El diseño original de SAFENCE se desarrolló con postes elípticos (Carta de aceptación B88). Este sistema constaba de cuatro cables ubicados a alturas de 480mm, 630mm, 780mm y 930mm. Todos los cables se ubicaban del mismo lado del poste, unidos con ganchos.



Actualmente existen cuatro (4) diferentes diseños para estas barreras: 3RI, 4RI, 3RC y 4RC, ellos difieren en el tipo de postes y el número de cables.



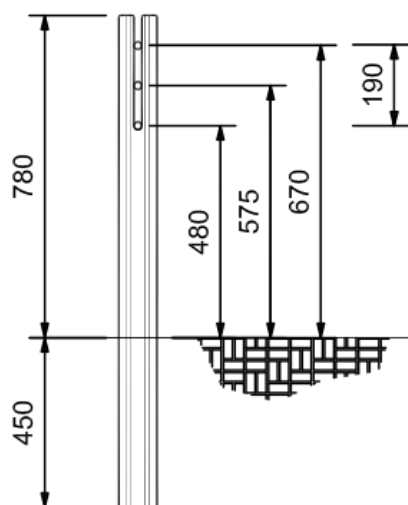
Poste I - SAFENCE



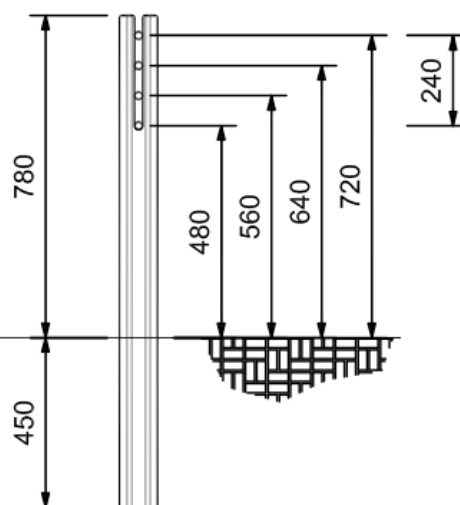
Poste C - SAFENCE



En todos los diseños los cables se colocan en una hendidura en el centro del poste, separados por espaciadores plásticos.

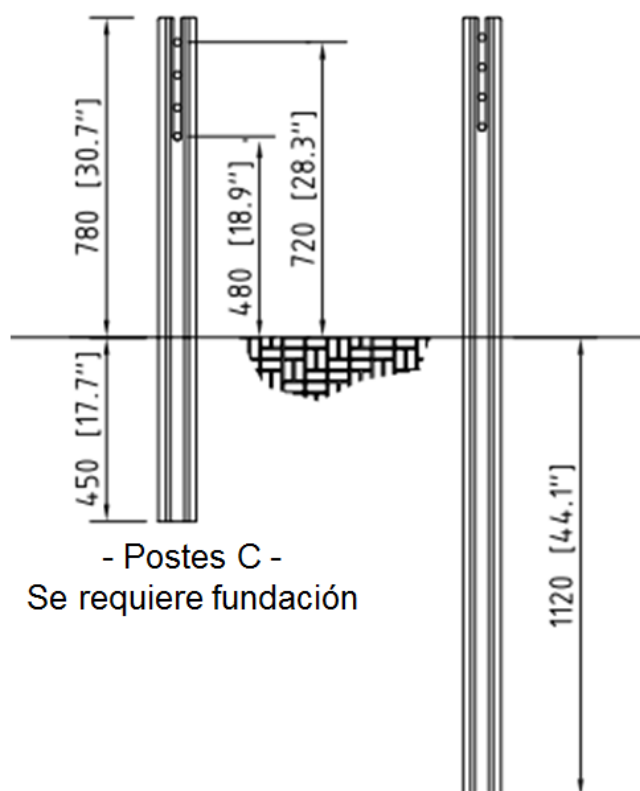


Sistema de tres cables SAFENCE



Sistema de cuatro cables SAFENCE

Los postes en ambos diseños pueden ser enterrados en el suelo o empotrados en cimientos de hormigón de 200mm a 300mm de diámetro, dependiendo del tipo de suelo y características del terreno, y 600mm de profundidad.



- Postes C -  
Se requiere fundación

- Postes C -  
Sin fundación



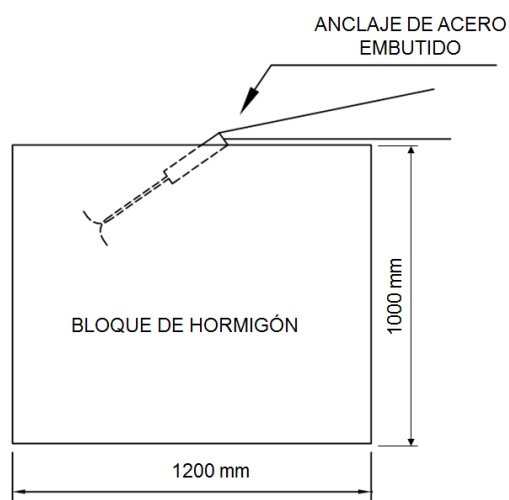
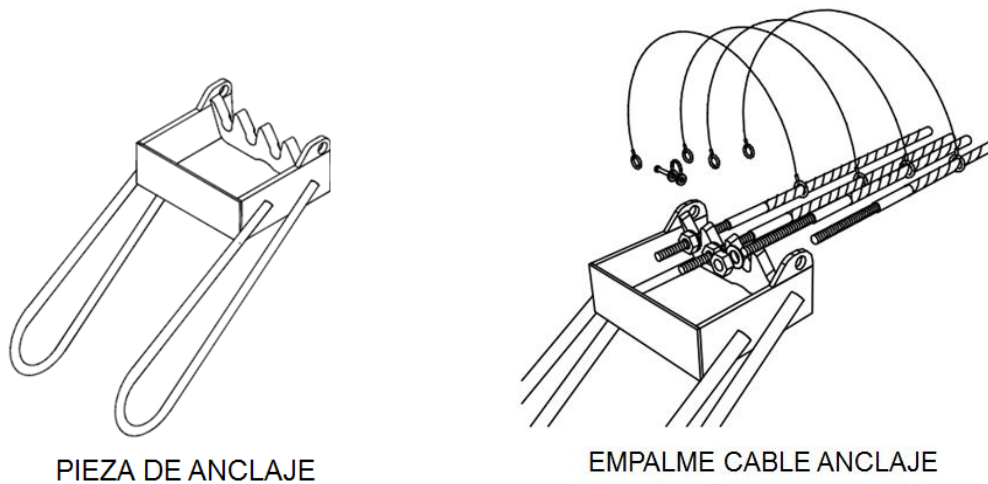
En el caso de postes enterrados directamente en el suelo la longitud por debajo de la línea del suelo debe ser de 1.120mm.

La distancia entre postes puede variar entre 1 y 3m, dependiendo del ancho de trabajo disponible.

Se han aceptado dos diseños de Safence al nivel TL4 por la FHWA (Cartas de Aceptación B88d y B88e). Son diseños similares salvo por la cantidad de cables. El primer diseño utiliza tres cables a alturas de 480mm, 640mm y 720mm. El segundo diseño tiene un cable adicional a 560mm del suelo.

El diseño TL3 de cuatro cables es similar al TL4 de 4 cables, la diferencia reside en que los postes son más fuertes, utilizando un acero ATSM A50 en vez del A36 utilizado en el TL3. Cada poste además está reforzado a la altura del suelo agregando una placa de acero dentro del poste de sección en C. Además se agregó un gancho de acero encima de los postes para retardar la liberación de los cables en caso de impacto.

Las bases de anclaje de este sistema son grandes bloques de hormigón de 1.000mm x 1.200mm y 1.000mm de profundidad con una pieza de acero embutida en él, como puede verse en la siguiente gráfica.



Las alturas de los postes cercanos al anclaje (más allá de la longitud de necesidad) son variables a efectos de ir modificando la dirección de los cables paulatinamente y así evitar esfuerzos laterales sobre los postes.

- Sistema de barrera de cable Trinity CASS

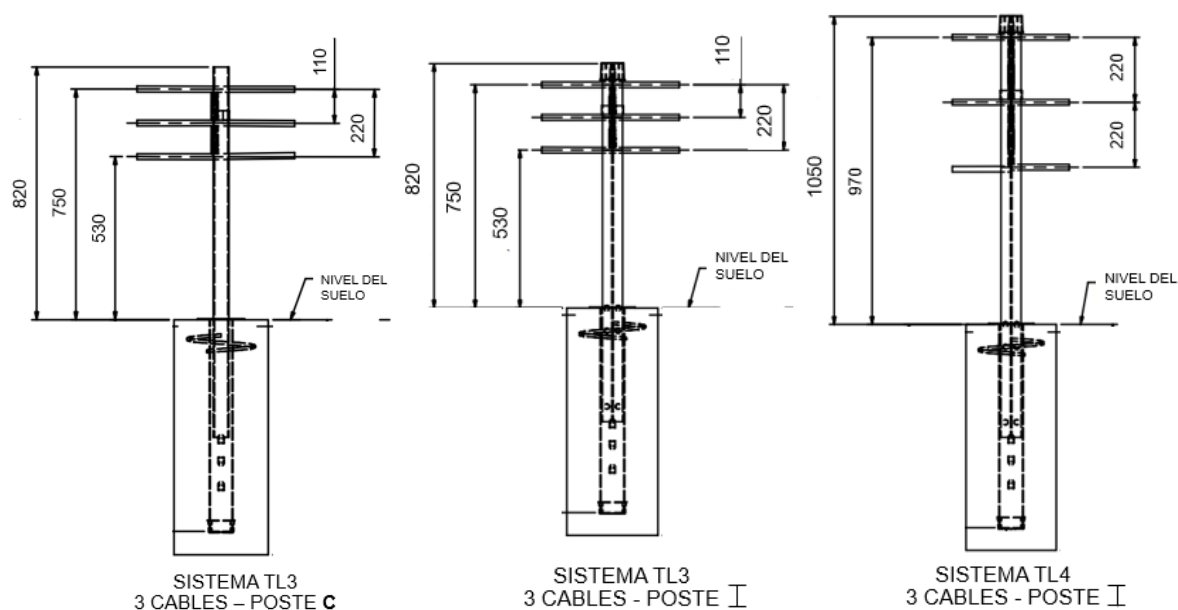
El sistema de barreras de alta tensión Trinity CASS ha sido probado bajo condiciones TL3 y TL4 y está disponible en varias configuraciones.



Utiliza cables de acero de 19mm de 3 x 7 hebras. Está disponible para tres y cuatro cables. Los cables se ubican en una hendidura en el centro del poste y se separan con espaciadores plásticos. Los postes pueden estar anclados al suelo utilizando vainas de acero empotradas en bases cilíndricas de hormigón, tubos de acero enterrados en el suelo o postes directamente enterrados en el suelo. Se pueden utilizar distintas separaciones de postes de 2 a 10m.

El diseño original de CASS utiliza postes con sección en C trabajados en frío y ha sido aceptado bajo condiciones TL3 (Carta de Aceptación B-119). Las alturas de cable en este diseño son de 530mm, 640mm y 750mm, como se ve en la figura siguiente. El segundo diseño TL3 de CASS utiliza postes doble T trabajados en caliente (Carta de Aceptación B-141). Los postes en este diseño se debilitan con dos agujeros de 17,5mm de diámetro en los laterales al nivel del suelo. Los cables se mantienen a la misma altura que en el diseño original, tal como se ve en la imagen. Un diseño TL4 que utiliza los mismos postes ha sido aceptado por la FHWA (Carta de Aceptación B-141). Este diseño utiliza tres cables a alturas de 530 mm, 750mm y 968mm del suelo, como puede verse en la tercera imagen.





Un segundo diseño TL3 de CASS que utiliza cuatro cables fue aceptado por la FHWA (Carta de Aceptación B-157). Los cables de este diseño están a alturas de 530mm, 750mm, 640mm y 968mm.

Cuando se utilizan postes C, estos deben colocarse con cada poste rotado 180° como indica la siguiente figura.



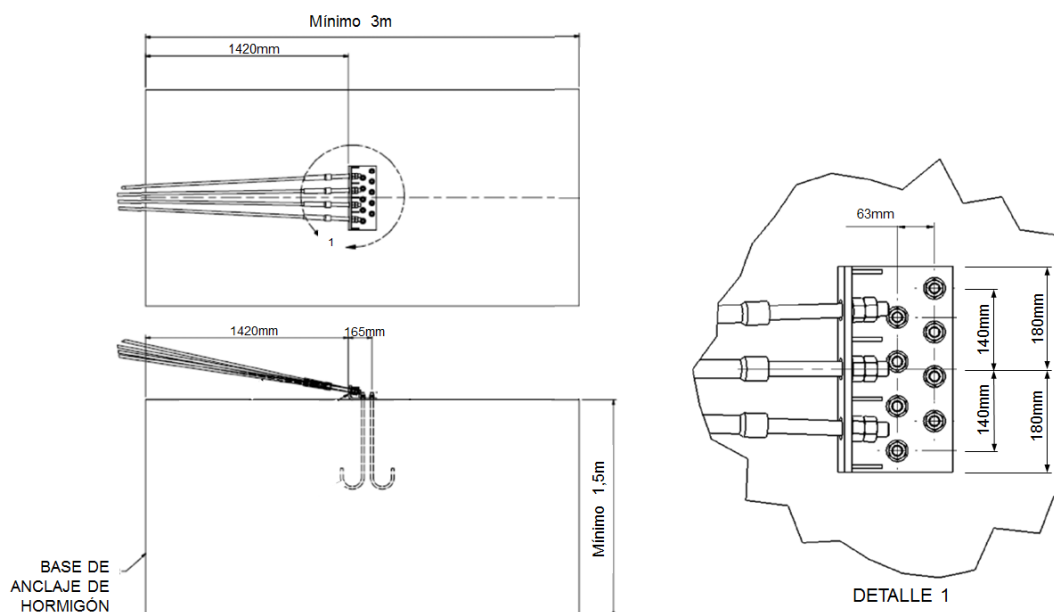
Ubicación de postes C en Barreras Trinity Cass



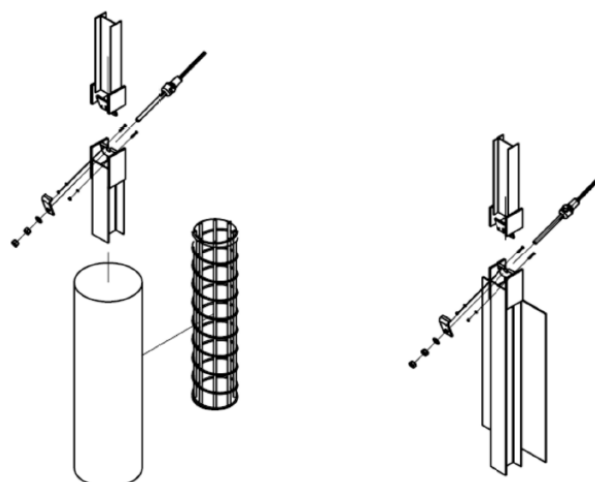
Trinity Cass posee varias alternativas para los anclajes:

Anclajes con base única, que consiste en un bloque de hormigón que puede ser prefabricado o hecho in situ, cuyas dimensiones de acuerdo a lo indicado en el siguiente gráfico son de 3m x 1,5m, por 1,5m de profundidad, como medidas mínimas, las cuales pueden ser aumentadas en función de las condiciones del suelo local.

Ocho (8) pernos de gancho se introducen en el hormigón antes de su fraguado, que luego irán abulonados al soporte del ancla. El sistema se completa con dos postes especiales y 7,5m de longitud de cable hasta alcanzar los postes de línea o típicos.

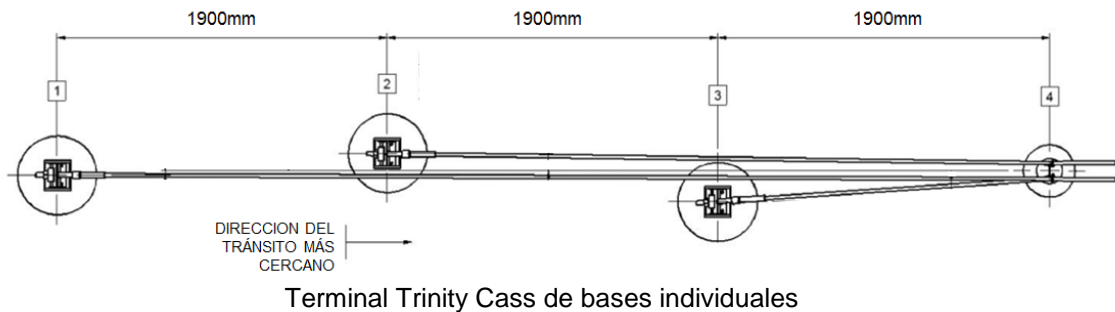


Otra alternativa es el diseño de una base para cada cable, vinculados por medio de postes especiales que constan de dos partes unidas por dos pernos. La parte inferior está inserta en una base de 450mm de diámetro y 1.500mm de profundidad, de hormigón reforzado con una jaula de acero en espiral o aros de acero. La terminal se completa con seis (6) postes intermedios hasta la "longitud necesaria".



#### Bases individuales para terminal Trinity Cass

También existe la opción de enterrar la parte inferior en el suelo con una placa de acero soldada de refuerzo.



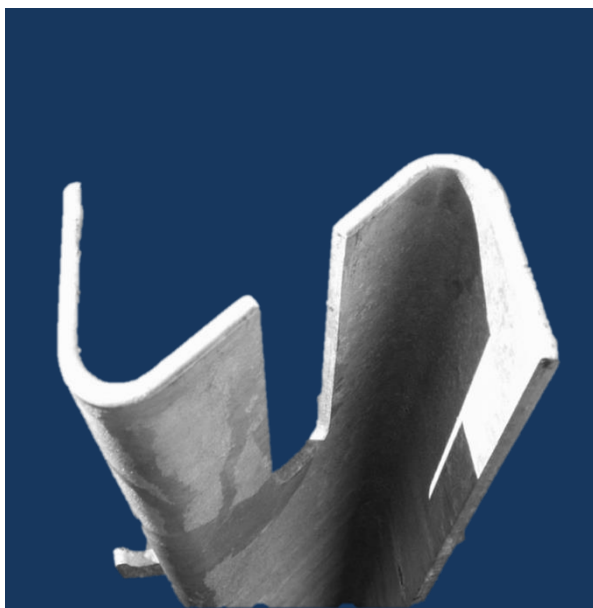
#### 4.2.2. CABLES ENTRELAZADOS

- Barreras de Cables Brifen (WRSF)



Las características más relevantes de las Barreras de Cables Brifen (WRSF) son el poste con perfil en Z y el entrelazado de los cables entre postes contiguos. Existen diseños de tres y cuatro cables. En ambas configuraciones el cable superior se coloca en una muesca en el medio del poste. Los otros dos o tres cables están entramados alrededor de los postes.





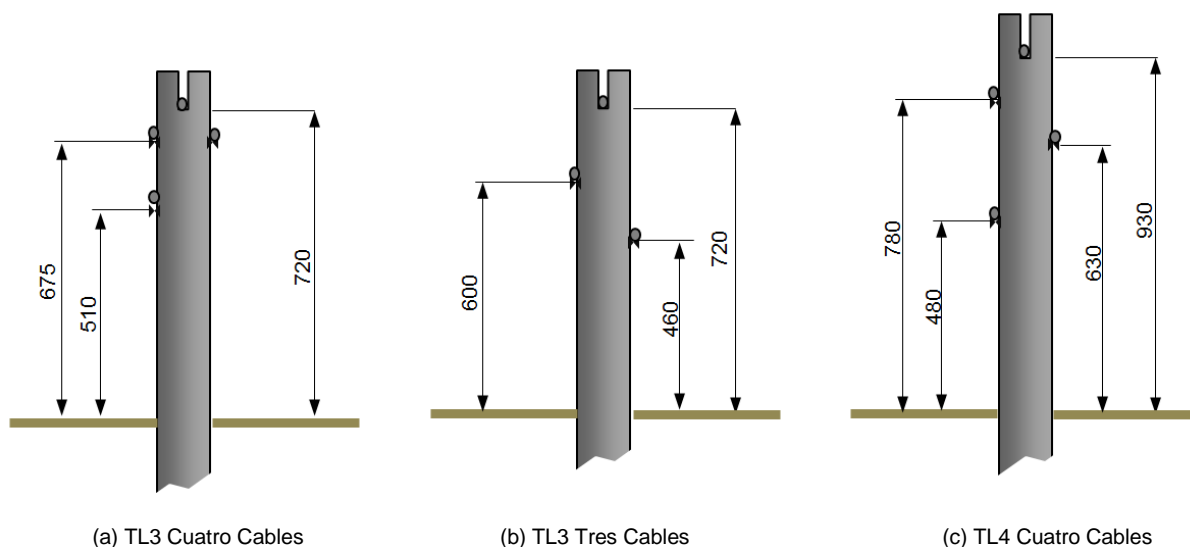
Se han probado y aceptado diferentes configuraciones de alturas de cable como barreras TL3 y TL4.

Los postes suelen estar encajados en un orificio tubular de acero empotrado en bloques de cemento de 305mm de diámetro y 760mm de profundidad. El sistema también admite los postes clavados directamente en el suelo o colocados en mangas de acero enterradas.



El primer sistema testeado en Estados Unidos (Carta de Aceptación B-82) fue una barrera TL3 de cuatro (4) cables, de acuerdo a la configuración que se muestra en la siguiente imagen, caso (a).

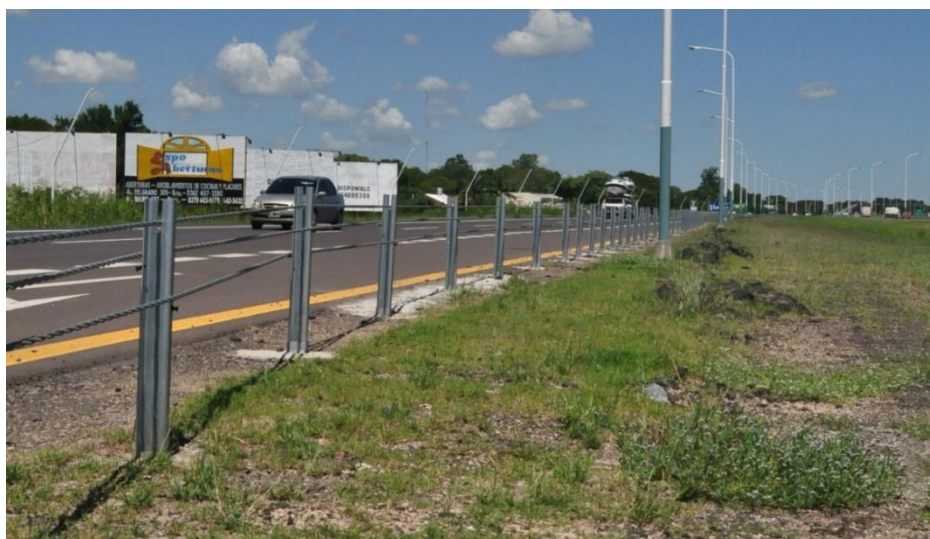
También en EUA se encuentra disponible otro diseño de tres (3) cables que ha satisfecho las exigencias de un TL3, tal como se muestra en la Imagen (b) (Carta de Aceptación B-82C), y un tercer diseño, un sistema TL4 de 4 cables, que ha sido testeado y aceptado por la FHWA (Carta de Aceptación B-82B). Las alturas de los cables en este diseño, como se muestra en la imagen (c), son de 480mm, 630mm, 780mm y 930mm.



Configuraciones de alturas de cables para los distintos sistemas Brifen WRSF

Los cables del Sistema Brifen son tensionados basándose en la temperatura ambiente. La tensión varía entre 14,0kN a 30°C y 36kN a 10°C. La separación típica de los postes es de 3,2m. También se ensayaron separaciones de postes de 2,4m y 6,4m en concordancia con el Informe 350 de la NCHRP.

El sistema de cables entrelazados instalado en Argentina responde a las características de la figura (b).



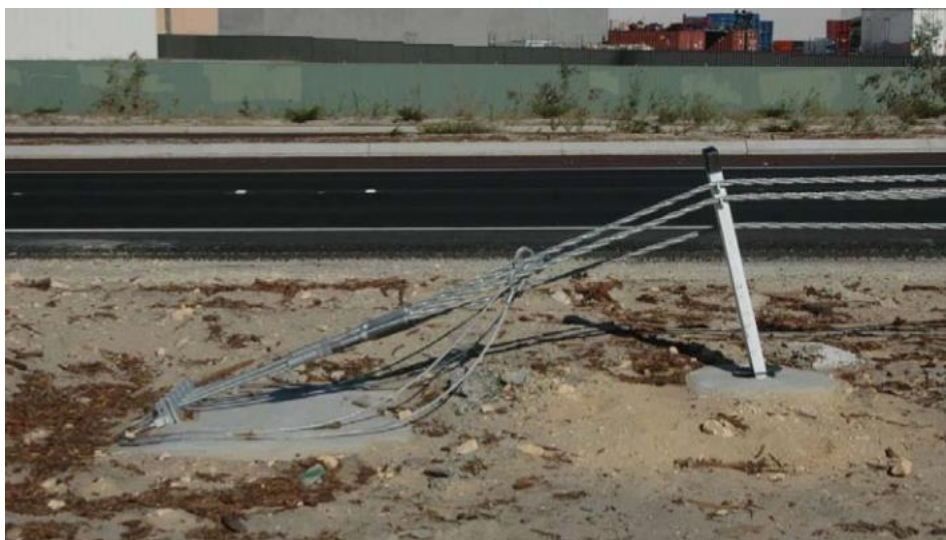
El diseño de los anclajes prevé que un vehículo que choque contra él pueda atravesarlo, con la mayor estabilidad posible, ya que no posee elementos rígidos que sobresalgan de la superficie más de 150mm.

Los anclajes en el sistema Brifen se conforman con un bloque de hormigón de aproximadamente 1m<sup>3</sup>, que actúa como un muerto de anclaje, y una pieza de acero que se entierra en el hormigón cuando éste aún no fragua.



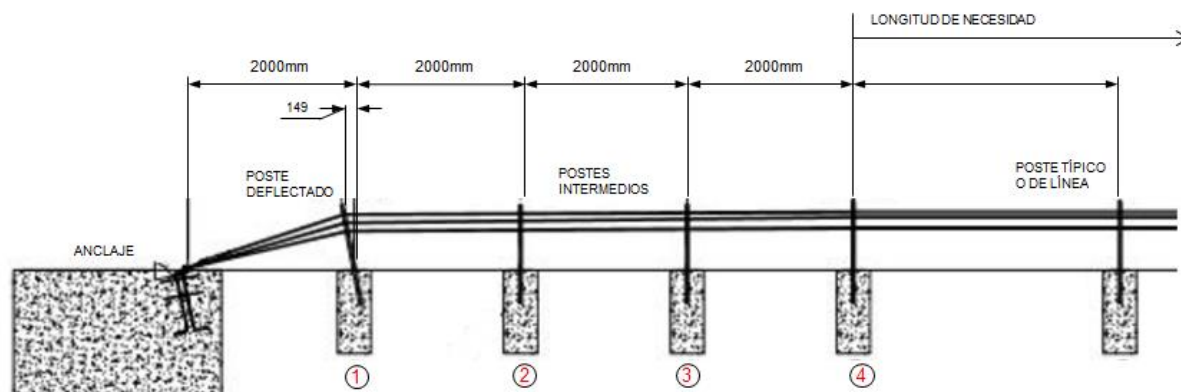


La parte superior de la pieza queda expuesta, con ranuras en “V” que es donde se enganchan los cables. Esta conexión ha sido diseñada para desengancharse cuando se produce un impacto de un vehículo en las proximidades del anclaje. Una cuerda de seguridad conectada al anclaje restringe el movimiento de latigazo de los cables frente a esta posibilidad.



El sistema se complementa con cuatro postes terminales que se colocan a intervalos de 2m. El primero se conoce como el poste de desviación y se instala en un ángulo de 11 grados (a la vertical). Los postes restantes se instalan verticalmente. En la siguiente figura se detalla un esquema del sistema.





## 5. Variables de los sistemas

Uno de los objetivos de un dispositivo de seguridad vial es brindar a los usuarios un camino indulgente, entendiendo por camino no sólo a la calzada sino a sus costados y entorno en general.

La meta de seguridad se cumple cuando el dispositivo contiene y redirige al vehículo fuera de una zona peligrosa, y lo desacelera de una manera previsible y controlada, sin causar daños graves a los ocupantes del vehículo y a otros automovilistas, peatones, o personal que pudiera estar realizando trabajos en la zona.

La deformación dinámica en un choque particular depende de muchos factores, incluyendo las condiciones del impacto (velocidad, ángulo y peso), diseño de la barrera (espaciamiento entre postes y entre cables, tipo de cimiento de los postes, conexión poste-cable, cantidad de cables, tensión y módulo de elasticidad de los cables), y condiciones ambientales (temperatura, coeficiente de fricción con el piso, dureza del suelo, pendiente, etc.). Debido a la cantidad de factores, es imposible predecir la deformación exacta que ocurrirá en el uso real. De acuerdo al Informe NCHRP 711 consultado para la presente guía, los procedimientos descritos y analizados en las normas NCHRP 350 y MASH evalúan el desempeño al impacto de dispositivos viales de seguridad, pero no normalizan todas las posibilidades de instalaciones de barreras de cable ni consideran todas las condiciones de un hipotético choque u otros aspectos que pueden ser importantes tales como estética, costos (iniciales y de mantenimiento), durabilidad (frente a condiciones ambientales extremas), la carga inducida por el viento, etc..

Por ejemplo, las barreras de cable se suelen probar en longitudes de instalación de 90 a 180m con los cables anclados en ambos extremos. Sin embargo, las instalaciones típicas reales en las rutas son mucho más largas, con distancias entre anclajes diez veces mayor que las que se utilizan en las pruebas de choque.

Con el espaciamiento más largo entre anclajes, la deflexión de la barrera podría ser considerablemente mayor y podría conducir a probabilidades más altas de penetración de la misma. La deflexión de la barrera también se ve afectada por la

separación entre los postes, la conexión entre el cable y los postes, y la tensión en el cable. La comprensión de la influencia de estas características en la deflexión durante el impacto es fundamental para tomar decisiones de diseño acertadas.

Para evaluar la influencia de todos estos parámetros de instalación deberían realizarse pruebas de choque con variadas configuraciones, cuyos estudios requerirían un importante análisis. Pero llevar a cabo los ensayos a escala real con todas las configuraciones posibles sería muy costoso, por ello el Informe NCHRP 711 se elaboró basándose en simulaciones computarizadas con diversos parámetros de diseño, instalación y condiciones de impacto, validadas con las pruebas de choque a escala real.

Las variaciones de configuración utilizadas en la modelación incluyen:

- Separaciones entre anclajes: 100m (espaciamiento típico utilizado para NCHRP 350 pruebas de choque), 200m, 300m, 500m, y 1.000m.
- Tensión de los cables inicial en el sistema antes de un impacto, 15 kN y 24 kN. Estas tensiones representan aproximadamente el típico clima caliente (38 ° C, 100 ° F) y el clima templado (10 ° C, 50 ° F).
- Separaciones entre postes de 1,6m, 3,2m, 4,8m y 6,4m.
- Cinco sistemas:
  - BRIFEN
  - GIBRALTAR
  - NUCOR,
  - SAFENCE
  - TRINITY CASS

Se seleccionó un sistema de cada fabricante, haciendo hincapié en aquellos más comúnmente instalados, que tienen múltiples datos de pruebas de choque a escala real disponible. Este proceso asegura que los modelos informáticos podrían validarse plenamente con los datos de las pruebas de choque y que los sistemas analizados representarían la mayoría de los sistemas instalados.

## 5.1. UBICACIÓN

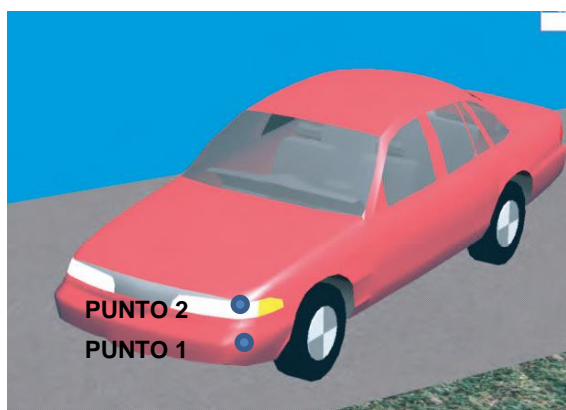
Los incidentes de vehículos que cruzan por debajo de la barrera, atraviesan la mediana y entran a la mano contraria han sido el disparador de la investigación en Estados Unidos, para identificar las causas de estos problemas y buscar maneras de reducirlos. En estos estudios se han utilizado análisis de elementos finitos, análisis de dinámica de vehículos y pruebas de choque a escala real para determinar los factores que influyen en la efectividad de las barreras para redirigir y detener vehículos desviados.

Estos esfuerzos proveyeron una explicación a los cruces por debajo de las barreras, y revelaron una relación mucho más fuerte de lo antes pensado entre la ubicación de la barrera, la configuración de la mediana y la efectividad del sistema.

Efectivamente, la ubicación lateral de un sistema de cables es uno de los factores más críticos que afecta su desempeño, dependiendo de la configuración (ancho, pendiente, condición) del costado o la mediana. En terreno llano, casi todas las barreras aceptadas son efectivas y pueden redireccionar adecuadamente los vehículos que abandonan la calzada, en condiciones normales. Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando se colocan barreras de cables en una mediana o costado con pendiente. La pendiente afecta la altura relativa a la cual el vehículo impacta la barrera, y podría conducir a que el vehículo no entre en contacto con los cables adecuadamente, y por lo tanto atravesase la barrera por encima o por debajo.

Para investigar los efectos completos de los perfiles de terreno en el desempeño de las barreras de cable y desarrollar guías para la óptima ubicación de éstas, se condujo un análisis exhaustivo. Se realizaron simulaciones de dinámica de vehículos para computar las trayectorias cuando atraviesan una mediana en sentido diagonal. Se utilizaron dos programas de dinámica de vehículos disponibles comercialmente para realizar las simulaciones y generar los datos y animaciones que representen las trayectorias.

Una ubicación lateral efectiva de la barrera involucra hallar el sector donde los puntos críticos del vehículo (Punto 1 y Punto 2) coinciden con la altura de los cables.



Los modelos han sido validados completamente y son capaces de predecir la trayectoria de un vehículo con precisión para diversos perfiles de terreno.

La investigación consideró un amplio rango de factores influyentes, en una típica autopista dividida. Se consideró la mediana de diferentes dimensiones y formas. La barrera de cable se coloca en algún punto de la mediana y puede ser impactada de ambos lados. La barrera de cable debe colocarse de tal manera que funcione efectivamente para ambos tipos de impacto.

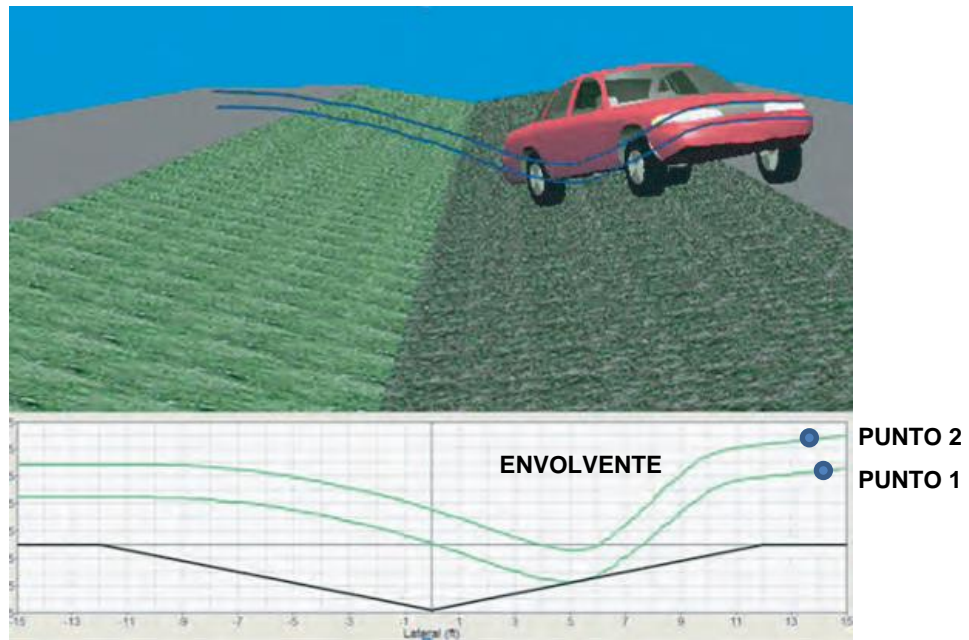
Para abordar el efecto del tipo de vehículo en el desempeño de las barreras, se utilizaron diversos modelos de vehículos en los análisis para generar una envolvente de trayectorias de vehículos.

Para este análisis se determinaron las condiciones efectivas de contacto evaluando la posición relativa del vehículo con la barrera tomando en cuenta que:



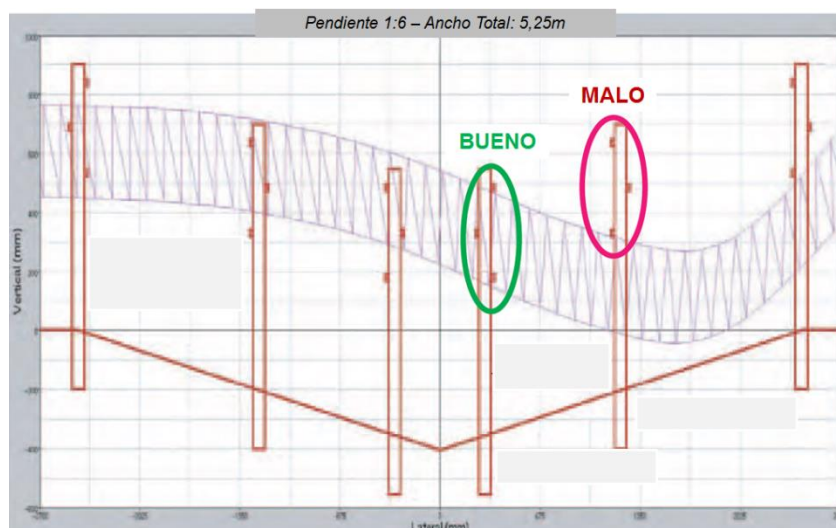
- Para minimizar la posibilidad de cruzar por encima, el cable superior debe contactar el vehículo por encima del Punto 1
- Para minimizar la posibilidad de cruzar por debajo, el cable inferior debe contactar el vehículo por debajo del Punto 2

Asociando el contacto de los puntos críticos con los cables para diferentes configuraciones de mediana (ancho, forma, pendientes y profundidad) se evalúa la eficiencia de la barrera al estar ubicada en diferentes lugares en el sentido lateral de la mediana.



Estas simulaciones se efectuaron con varios tipo de vehículos (auto compacto, sedán y camioneta), varias velocidades (de 50 a 100 km/h), varios ángulos de acercamiento (de 5 a 25 grados), varios perfiles de mediana (en V y con fondo plano), varias pendientes (1V:8H, 1V:6H, 1V:6H) y anchos de mediana (de 5 a 17m). Las alturas relativas de los vehículos se compararon con la ubicación vertical de los cables para evaluar la interacción de los vehículos con la barrera.

El análisis se usó para investigar cada caso individual (un vehículo, una velocidad, un ángulo y un perfil de mediana) como se muestra en la siguiente imagen:



La imagen muestra un posible recorrido de un vehículo moviéndose de izquierda a derecha en una sección de mediana y seis ubicaciones posibles para una barrera de 3 cables. El contacto con todos los cables indica una ubicación claramente buena (óvalo verde) y no interactuar con los cables un emplazamiento malo (óvalo rojo). Contactar con uno o dos de los cables se puede considerar aceptable.

El análisis mostró que el cambio en la pendiente es uno de los principales factores que contribuye a la penetración de la barrera en la mediana y la intrusión de vehículos en las vías de circulación contraria. Existen sectores de la mediana (entre 30 y 240cm del eje) donde se observan variaciones significativas de la posición vertical del vehículo, para todos los anchos de mediana (de 5 a 15m), por lo que resulta conveniente evitar el emplazamiento de barreras en esta zona, o colocar más cables en el sistema.

Cuanto mayor es el cambio de pendiente es más crítico el efecto que tiene sobre el rendimiento de barrera. Lo más habitual es encontrar cambios negativos en la pendiente de la mediana (pendiente descendente), que puede dar lugar al sobrepaso de las barreras en vehículos de alta velocidad y gran ángulo de impacto. Un cambio positivo en pendiente (pendiente ascendente) puede conducir a los vehículos a pasar por debajo.

Las pautas que se enumeran a continuación proporcionan recomendaciones para reducir estos inconvenientes que pueden anular la efectividad del sistema:

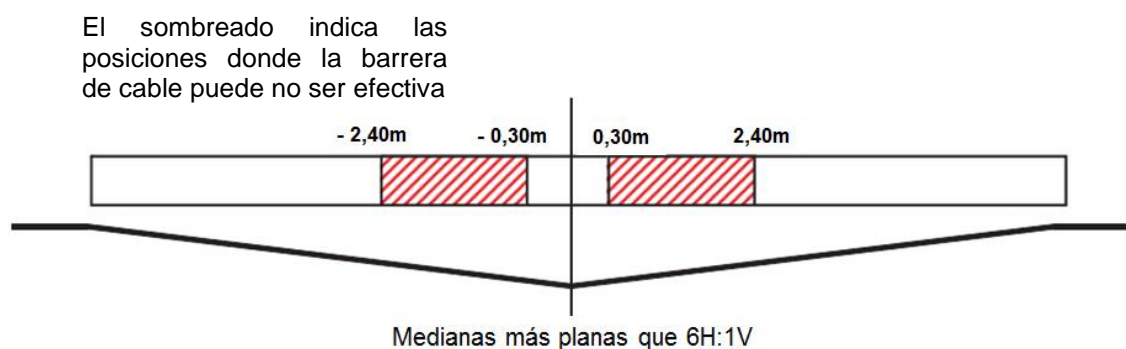
- Deben colocarse respetando las distancias mínimas a los objetos rígidos o condiciones peligrosas; estas distancias de trabajo dependen de varios aspectos que serán tratados en los próximos apartados, que pueden llegar hasta los 3,5m.
- Los sistemas de barrera de cable no deben colocarse en pendientes superiores a 1V:6H (deseable) o 1V:4H (máxima), a menos que el sistema haya sido diseñado para ello y ensayado con éxito en pruebas de choques en estas condiciones.
- A menor pendiente, menores serán los efectos sobre la trayectoria del vehículo que pueda alterar la eficacia de contención y redireccionamiento de los mismos.
- Medianas más anchas ofrecen mayores opciones de colocación.

- Cuando el sistema se instala en una mediana, debe evitarse la colocación en el fondo de cuneta, ya que pueden experimentar fallas en los anclajes por las condiciones de suelo deficientes, saturadas o con problemas de drenaje.

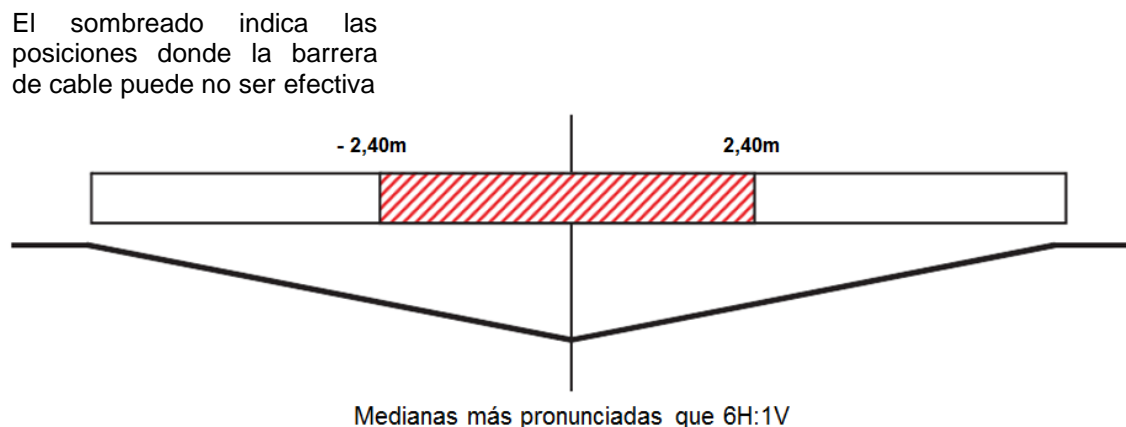
La forma de la mediana también influye en la selección de la zona de mayor eficacia en la colocación de las barreras.

- Mediana simétrica en forma de V y fondo redondeado:

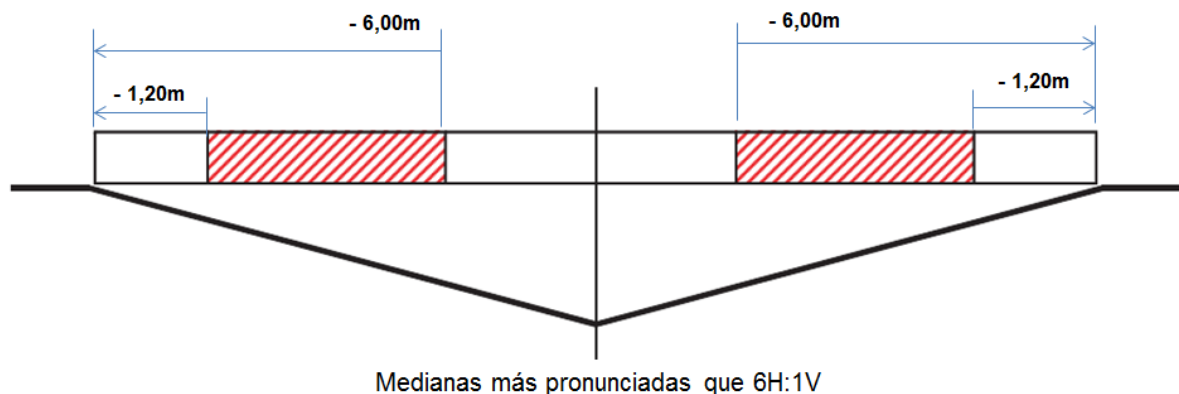
1) Para evitar que vehículos de pequeño y mediano tamaño pasen por debajo de la barrera, ésta no debe ser colocada entre 0,3m y 2,4m de cada lado del eje, en caso de pendientes de hasta 1V:6H.



2) Para las medianas con pendientes más pronunciadas que 1V:6H, la región entre -0,3m y 0,3m del eje de la mediana también debe ser evitada.

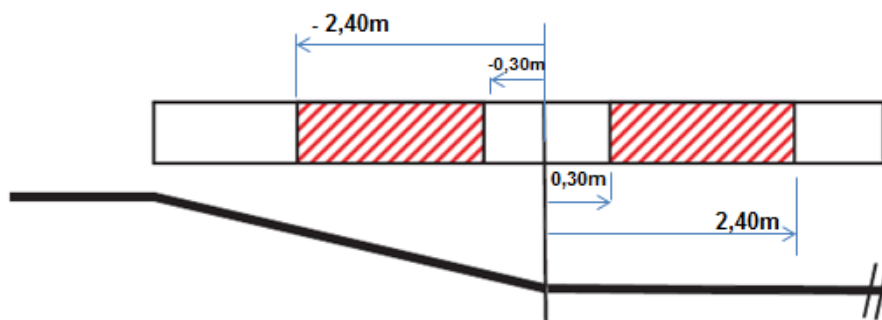


3) Para evitar el sobrepaso de los vehículos más grandes (Utilitarios y Camionetas), la barrera no debe ser colocada en el sector entre 1,2 y 6,0m desde el borde de la mediana (punto de ruptura) para pendientes mayores que 1V:6H.

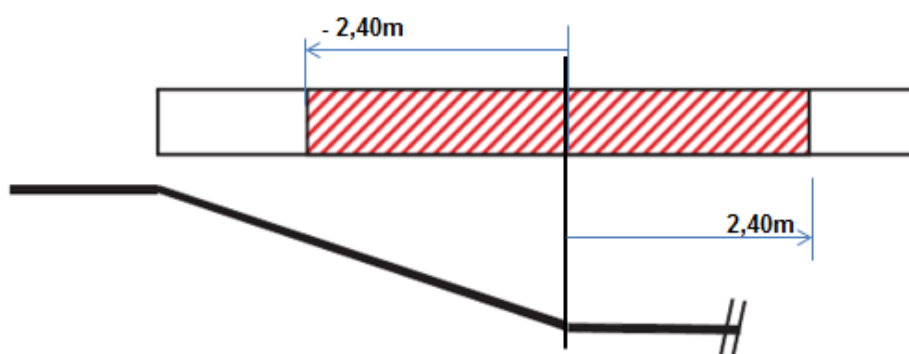


- Mediana simétrica de fondo plano

1) Para evitar el traspaso de vehículos de pequeño y mediano tamaño, la barrera no debe ser colocada en el sector comprendido entre 0,3 y 2,4m de ambos lados de los puntos de ruptura de fondo plano.

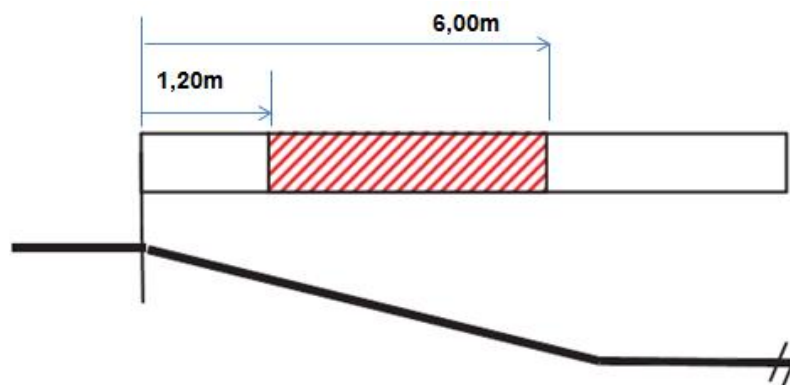


2) Si la pendiente de la mediana es más pronunciada que 1V:6H, o si su sección de fondo plano es inferior a 2,4m de ancho, la región entre -0,3m y 0,3m desde el punto de quiebre, también debe ser evitado.



3) Para asegurar la eficacia de la barrera para los vehículos más grandes (Utilitarios y Camionetas), la barrera no debe ser colocada en una región entre 1,2m (4 pies) y 6,0m (20 pies) desde el borde de la mediana (punto de ruptura) cuando la pendiente media es más empinada que 1V:6H (Figura 6.4).





Medianas más pronunciadas que 6H:1V

- Medianas no simétricas

- 1) Es preferible colocar la barrera de cable en el lado de la mediana con la menor pendiente.
- 2) Para evitar traspaso o pérdida de efectividad es conveniente seguir las mismas pautas que para las medianas en forma de V y de fondo plano.

- Caminos con peraltes

- 1) Para los caminos con peralte mayor al 3%, la barrera no debería estar a más de 0,60m del borde de la mediana, para las medianas con una inclinación mayor 1V:6H
- 2) Para los caminos con peralte mayor al 3% y medianas de menor pendiente que 1V:6H, las barreras no deben estar a más de 1,50m
- 3) Es conveniente colocar la barrera del lado de la mediana opuesto al peralte.

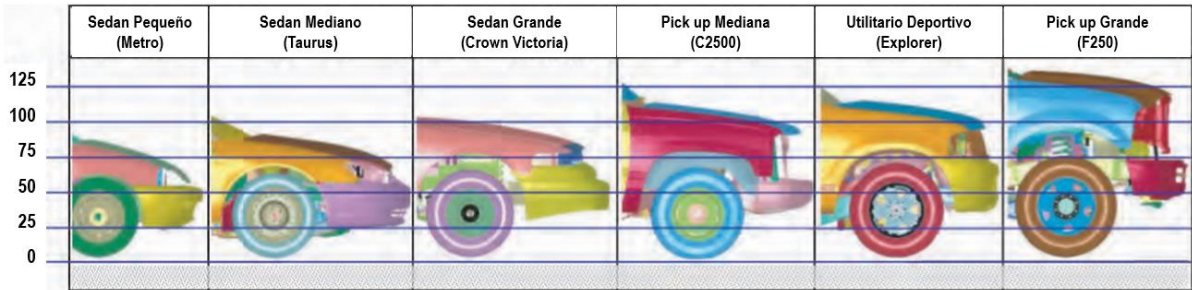
## 5.2. NÚMERO Y DISPOSICIÓN DE LOS CABLES

El problema de traspasar una barrera de cables o sobrepasarla no sólo depende de la ubicación del sistema con respecto al borde de la calzada. Uno de los aspectos fundamentales para determinar la efectividad de un sistema de barreras de cable es la altura a la cual cada uno de ellos es colocado.

Las barreras de cable deben funcionar para un amplio rango de vehículos, desde deportivos pequeños a camiones con un alto centro de gravedad. Si el cable inferior está demasiado alto, los vehículos pequeños podrían pasar por debajo de ellos. Si el cable superior está demasiado bajo, los vehículos grandes podrían pasar la barrera por encima. Si los cables están demasiado separados los vehículos podrían penetrar la barrera entre ellos.

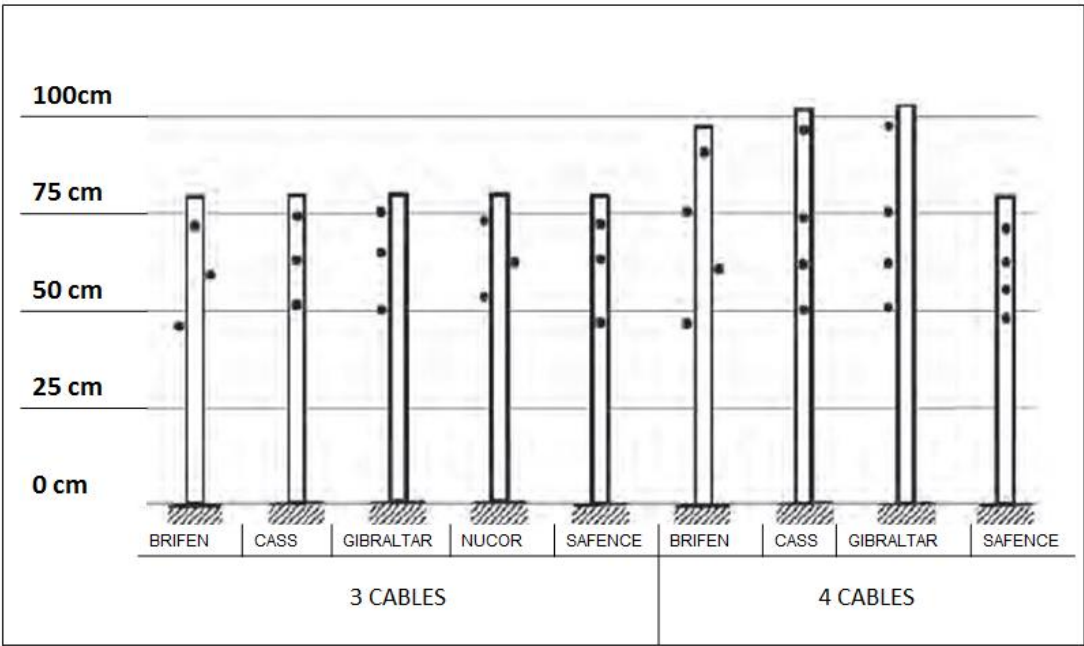
El parque automotor actual es una mezcla heterogénea de vehículos de diversas formas y tamaños. Estos aspectos también fueron considerados en la NCHRP 711 para los vehículos más utilizados en EUA, en los análisis de simulaciones, y puede

verse en la siguiente figura una muestra de vehículos y las variaciones en alturas de sus paragolpes y estructuras principales, que son los modelos utilizados en la simulación para generar una envolvente de trayectorias de vehículos y así definir las alturas más efectivas de posición de los cables.



Variaciones en el perfil frontal de los vehículos

Las barreras existentes en el mercado tienen 3 o 4 cables. Si bien las alturas de los cables varían en los distintos sistemas, en la mayoría el cable inferior se ubica entre 432 y 533mm de altura. El cable superior en la mayoría de los sistemas está entre 762 y 1.067mm. La siguiente imagen muestra las alturas de cables para algunos de los sistemas disponibles.

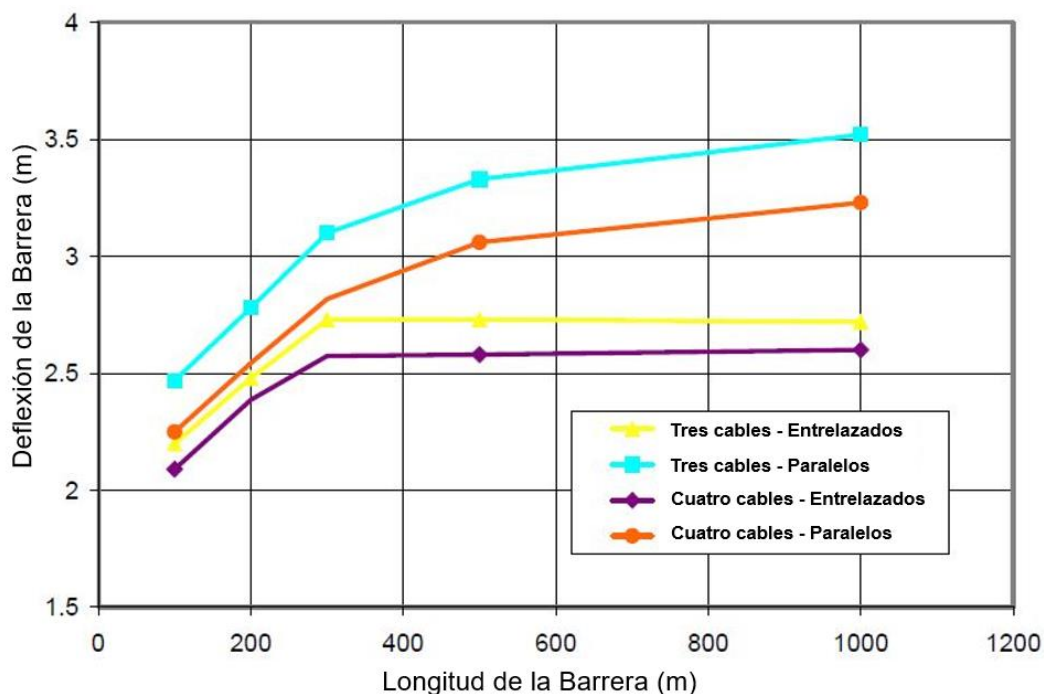


Diferentes alturas de cables para sistemas disponibles

La deflexión de una barrera se ve afectada tanto por el número de cables como por su configuración (paralelos o entrelazados). En este sentido se llevaron a cabo simulaciones de modelos con sistemas de barrera de tres y cuatro cables, con cables paralelos y entrelazados, para evaluar los efectos de estos aspectos en las deflexiones de la barrera.

Los resultados de la simulación mostraron que las barreras de cuatro cables tenían una menor deflexión que las barreras de tres cables, para ambos sistemas. Esto se

atribuye principalmente al hecho de que el número de cables comprometidos en la contención del vehículo será mayor cuanto mayor es el número de cables de la barrera, y consecuentemente la tensión se distribuye, y por lo tanto se produce menor estiramiento de los cables.



Efecto del Número de Cables y la distancia entre anclajes en la Deflexión para Barreras de Cables Paralelos y Entrelazados

Se descubrió además, que la distancia entre anclajes tiene un efecto significativo en la deformación para ambos sistemas, paralelo y entrelazado. El aumento de esta deformación fue del 25% al aumentar la distancia de 100 a 300m. Sin embargo, para separaciones mayores a 300m los sistemas se comportan de forma diferente.

Las simulaciones indican que el sistema de cables entrelazados alcanza una deformación máxima con una separación de aproximadamente 300m, y para separaciones mayores la deformación se mantiene constante, tanto para 3 como para 4 cables. Este fenómeno se debe a las grandes fuerzas de fricción que ejercen los cables entretejidos en los postes, lo cual transforma cada poste en un pequeño anclaje. Con el sistema de cables paralelos, las fuerzas de fricción en los postes son bajas, y la deformación aumenta al aumentar la separación de los anclajes, aunque no con la misma tendencia.

### 5.3. TENSIÓN DE LOS CABLES y LONGITUD ENTRE ANCLAJES

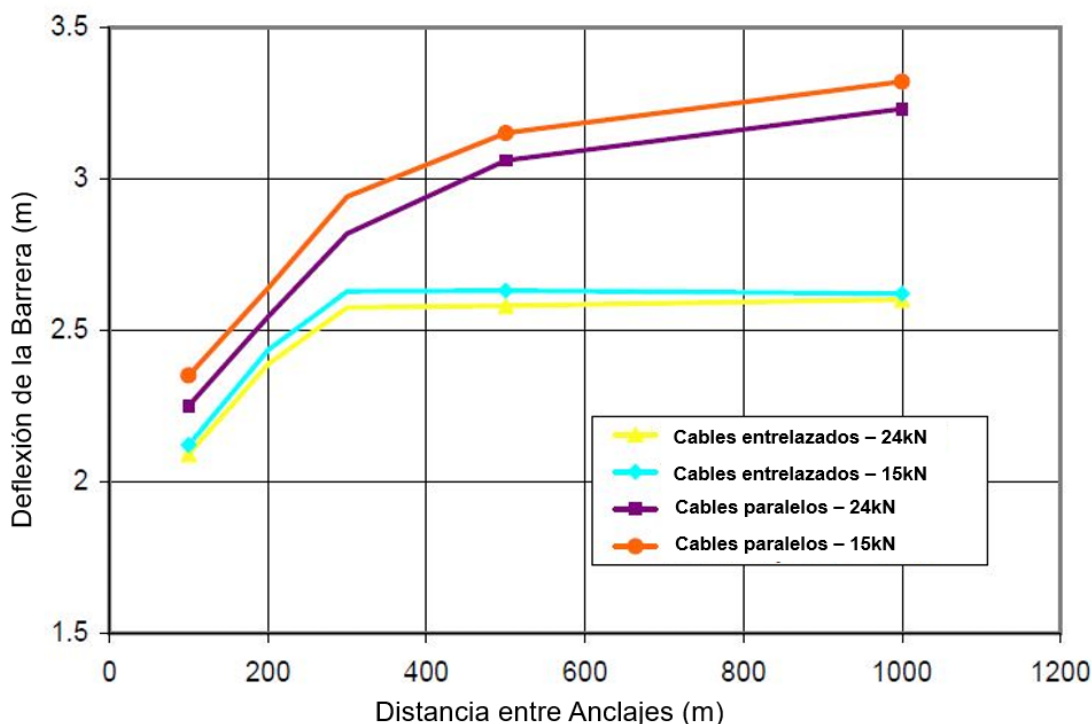
El Centro Nacional de Análisis de Choque (NCAC) de la Universidad George Washington (EUA) condujo varias simulaciones de dos tipos de barreras de cable con dos tensiones iniciales y tres distancias de separación de anclajes.

A través de este método fueron desarrollados y validados estudios con modelos de elementos finitos de una barrera de cables entrelazados de cuatro (4) cables y una

de cables paralelos de cuatro (4) cables. La separación de postes fue de 3,2 m para el sistema entrelazado y de 3 m para el paralelo.

Dos tensiones, 15 kN y 24 kN, fueron usadas en el sistema antes del impacto. Estas tensiones representan aproximadamente un típico “clima cálido” (38°C) y “clima templado” (10°C) para barreras de alta tensión.

Se utilizaron separaciones de anclaje de 100 a 1.000m. Los resultados de la simulación se muestran en la siguiente imagen:



Efecto de la Tensión y la distancia entre anclajes  
en la Deflexión para Barreras de Cables Paralelos y Entrelazados

Como era de esperarse, la deformación es mayor para tensiones más bajas. El pequeño cambio (menor al 5%) de deformación para una reducción del 38% de tensión se explica por la gran variación de tensión que experimenta el cable en el impacto. La tensión del cable al momento del impacto es de 4 a 5 veces mayor que la tensión antes del impacto.

Estos hallazgos indican que, para las barreras de alta tensión, la deformación dinámica en choques en climas cálidos con tensiones más bajas no debería ser mucho más grande que las ocurridas en un clima templado.

Al igual que en el apartado anterior, las simulaciones indican que el sistema de cables entrelazados alcanza una deformación máxima con una separación de aproximadamente 300m, y para separaciones mayores la deformación se mantiene constante, y con el sistema de cables paralelos las deformaciones siguen aumentando con el incremento de la distancia entre anclajes, aunque con una tendencia menor para espaciamiento mayor que 300m.



La tensión en los cables también se ve afectada por los cambios de temperatura. La mayoría de los fabricantes de sistemas de alta tensión proporcionan valores de tensión de referencia, basados en la temperatura ambiente de la zona, pero las temperaturas de los cables pueden ser muy diferentes a la temperatura ambiente. Por lo tanto, el tensado del sistema debe basarse en la temperatura del cable, no la temperatura ambiente. Para detectar posibles deslizamientos por las variaciones de temperatura, es una buena práctica hacer una marca sobre los cables en los accesorios y controlar dicha posición.

#### 5.4. LONGITUD ENTRE ANCLAJES Y DISTANCIA ENTRE POSTES

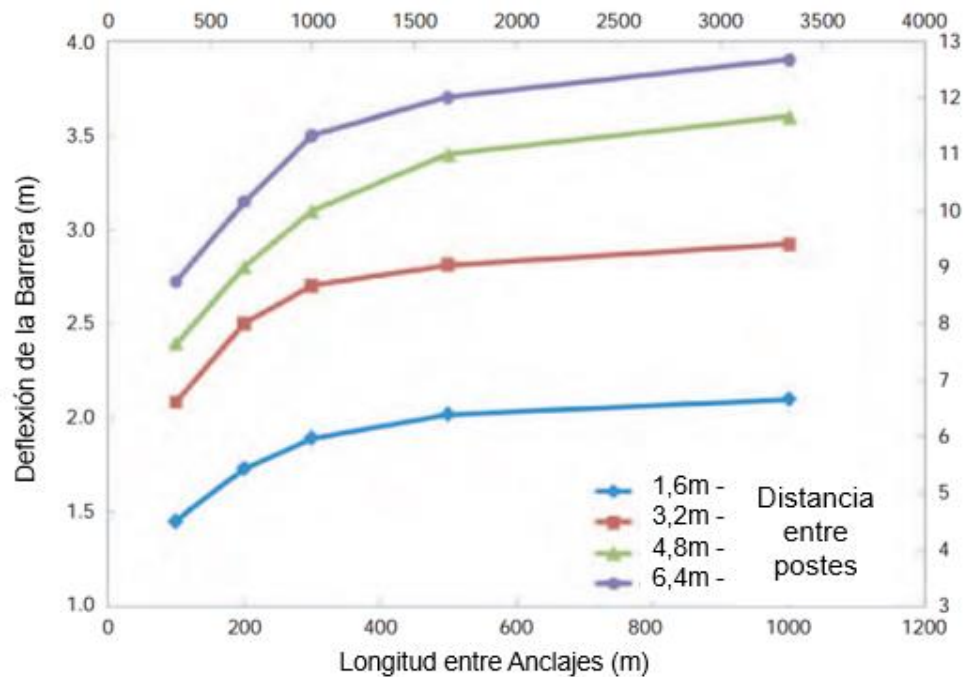
Para investigar los efectos de la separación entre postes en la deflexión de barrera para diferentes distancias entre anclajes, se realizaron y compararon simulaciones con longitudes de defensas entre 100 y 1.000m, y separaciones de postes entre 1,6 y 6,4m para los cinco sistemas estudiados.

En concordancia con lo ya planteado en el apartado 5.3, los resultados de la simulación muestran que para todos los sistemas la deflexión aumenta a medida que se incrementa la separación entre los anclajes. Los resultados también muestran que el efecto de esta distancia es diferente para los distintos sistemas de barrera analizados.

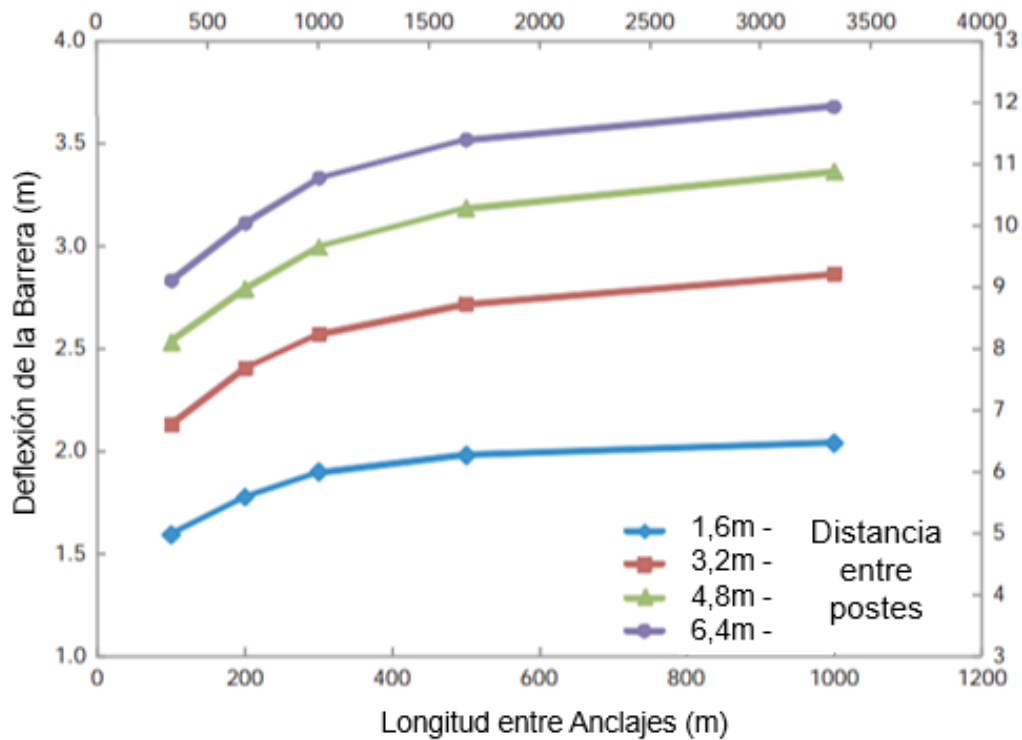
Ya se han estudiado los motivos de las diferencias entre los sistemas de cables paralelos y entrelazados. En cuanto a la discrepancia entre los distintos sistemas de cables paralelos, ésta se atribuye principalmente al efecto de la vinculación entre cable y poste. Algunos sistemas restringen parcialmente el deslizamiento longitudinal de los cables en relación con los postes lo que conduce a una deformación menor.

Las simulaciones muestran que la relación entre el aumento de la deflexión de barrera y la longitud entre anclajes va disminuyendo progresivamente a partir de los 300m de esta longitud y más aún entre los 500 y 1.000m.

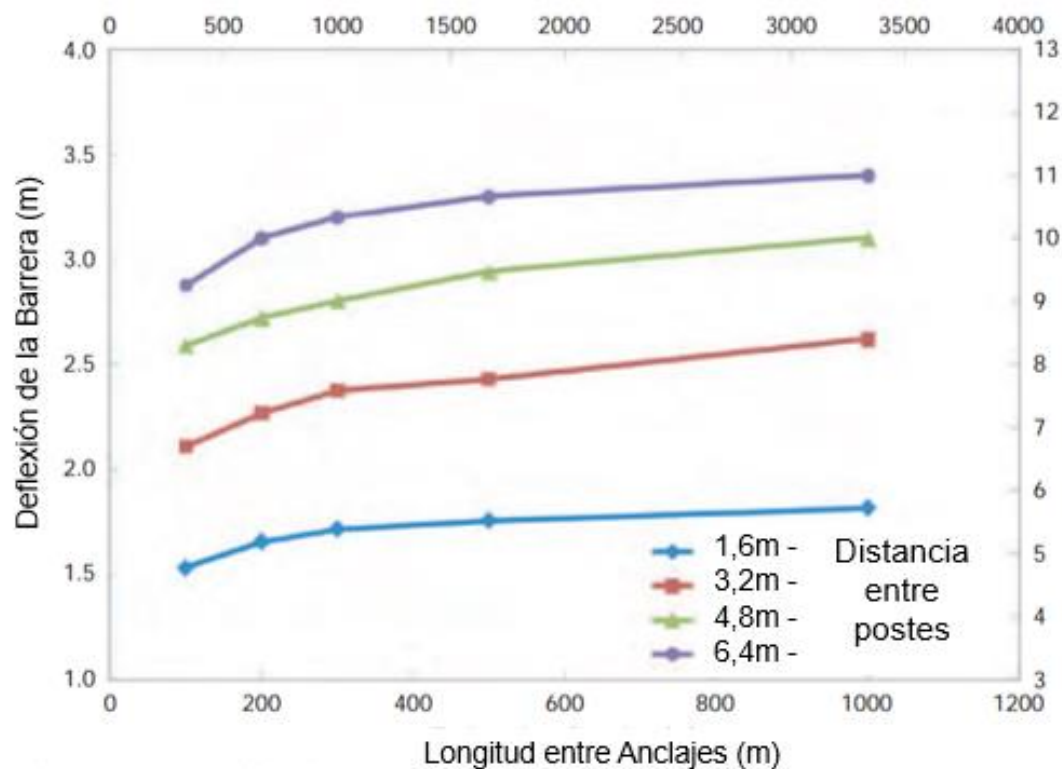
Para todos los sistemas, las simulaciones muestran que la deflexión de la barrera se incrementa a medida que aumenta la separación entre postes. La tasa de aumento disminuye a medida que aumenta esta separación, tal como puede verse en las siguientes figuras.



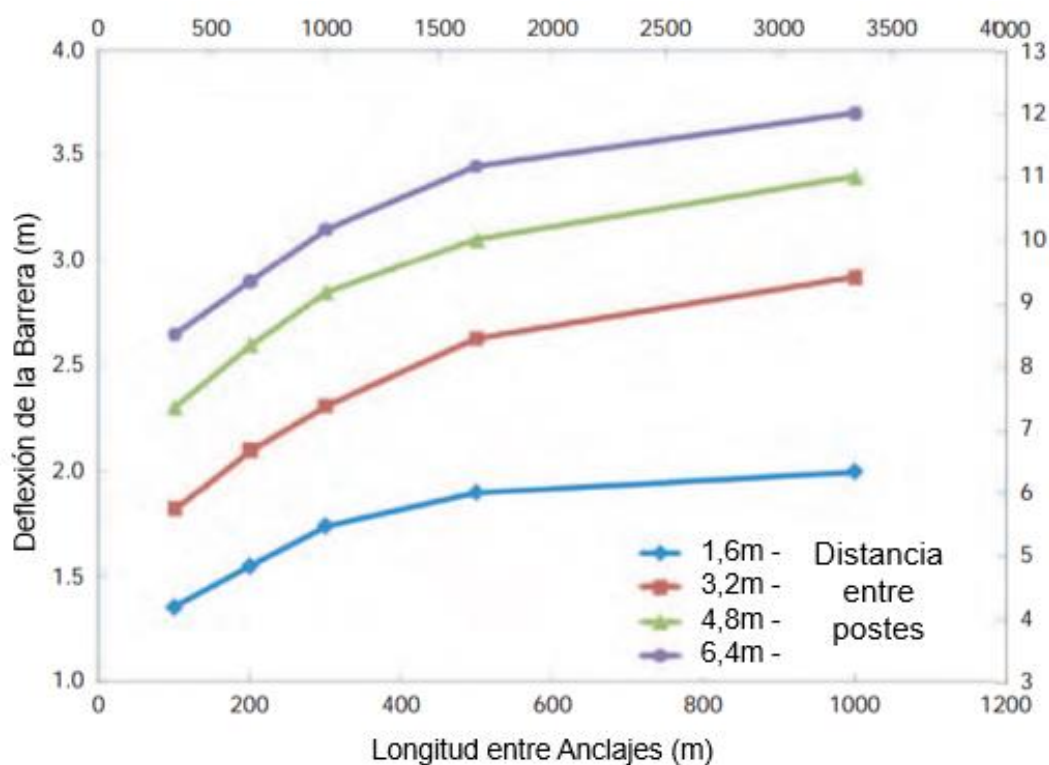
Deflexiones para diferentes distancias entre postes  
Sistema de Barreras GIBALTAR



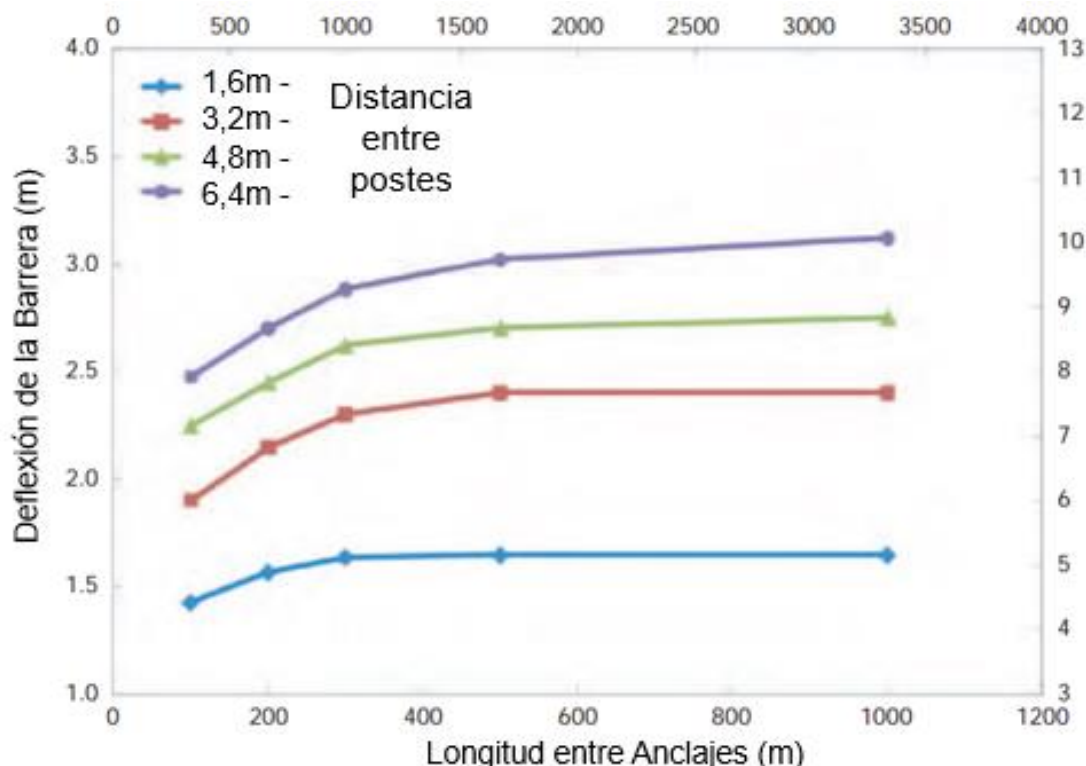
Deflexiones para diferentes distancias entre postes  
Sistema de Barreras NUCOR



Deflexiones para diferentes distancias entre postes  
Sistema de Barreras SAFENCE



Deflexiones para diferentes distancias entre postes  
Sistema de Barreras CASS



Deflexiones para diferentes distancias entre postes  
Sistema de Barreras BRIFEN

Es necesario tener en cuenta estas curvas, y las consideraciones de los fabricantes al instalar cualquier sistema de defensa de cables, pudiéndose disminuir la separación entre postes en algún sector en el cual las distancias de trabajo no cumplan con las exigencias establecidas. Pasada esta situación el tramo puede recuperar la separación característica.



## 6. Curvas Horizontales

Las curvas horizontales afectan el desempeño de las barreras de cable y deben ser tomadas en cuenta al decidir dónde colocar las barreras. La tensión de los cables es lo que permite a las barreras redirigir los vehículos. Los impactos en el lado cóncavo

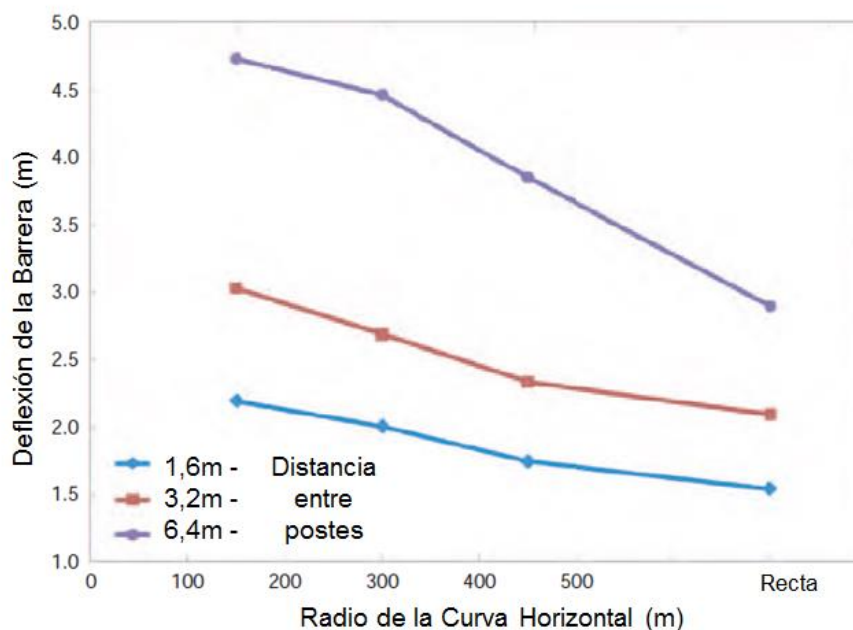


de una barrera de cable en curva no son un problema. Sin embargo los impactos en el lado convexo de una barrera de cable instalada en curva resultarán en deformaciones mayores debido a la reducción de tensión que causa el choque.

Se ha realizado una limitada investigación acerca del desempeño de barreras de cable en curvas horizontales. Los impactos en el lado convexo de una barrera en una curva resultan en deformaciones más grandes debido al aflojamiento de los cables que ocurre cuando se remueven los postes y los cables siguen el alineamiento de una cuerda en vez del arco.

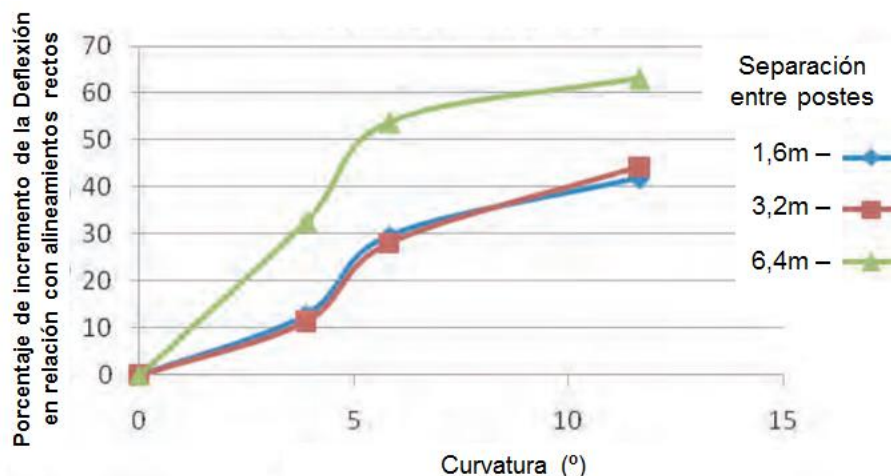
Para investigar este efecto en barreras de alta tensión se realizaron simulaciones de elemento finito, basados en el sistema de 4 cables de alta tensión de CASS. Se utilizaron modelos de computadora con diversos radios de curva (150m, 300m y 450m) y tres diferentes separaciones entre postes (1,6m, 3,2m y 6,4m), y se incorporó un alineamiento recto, sumando una longitud de barrera total de 200m.

Los resultados del estudio se muestran en la siguiente imagen.



Deflexión en Curvas de diferentes radios para impactos del lado convexo de la curva

Asimismo, se puede observar cuánto representa porcentualmente el incremento de deformación para las diferentes configuraciones de separación entre postes, de acuerdo a la próxima figura:

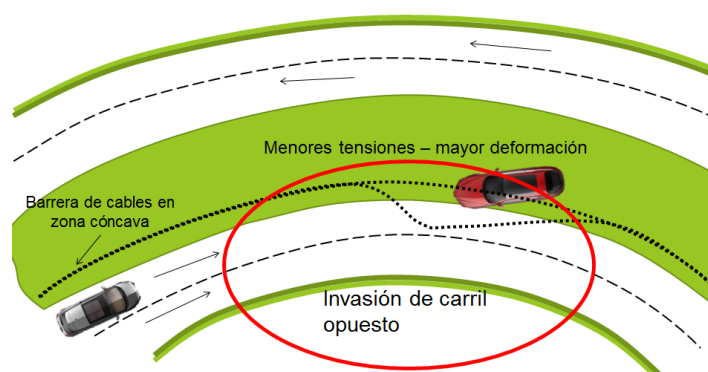


Influencia de la Curvatura Horizontal y la Separación entre Postes para impactos del lado convexo de la curva

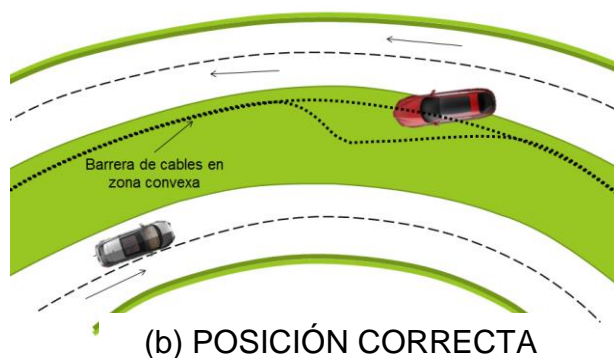
Las simulaciones indican claramente que la curvatura convexa conduce a una mayor deflexión superando hasta en un 70% las deformaciones en tramos rectos. Por lo tanto, es importante tener en cuenta este efecto cuando se selecciona la ubicación de una barrera en curvas.

Con relación a la separación entre postes, los resultados fueron casi idénticos para separaciones de 1,6m y 3,2m pero una separación de 6,4m muestra un aumento significativo en la deformación, que se pronuncia aún más para mayores grados de curvatura (menores radios).

Dado que salirse de la calzada es más común en el interior de una curva, se recomienda que las barreras de cable de mediana en una curva horizontal se ubiquen en el lado externo de la curva, lo que evita el riesgo de invasión de carril contrario en caso de un choque del lado convexo de la curva como se ve en la figura (a), otorgando además al conductor que pudiese salirse de la vía del lado cóncavo, más espacio detenerse sin llegar a colisionar la barrera.



(a) POSICIÓN INCORRECTA



Otra de las preocupaciones asociadas al emplazamiento de las barreras de cables en curvas es la presión lateral que se ejerce sobre los postes debido a la tensión de los cables, lo que puede ocasionar que se doblen con el tiempo o que se desenganchen, independientemente de si la barrera está en el lado convexo o en el cóncavo.



Los estudios realizados sugieren las siguientes pautas:

- Utilizar menores espaciamientos entre postes para tener en cuenta el aumento de la deflexión cuando se colocan barreras en las curvas horizontales con un radio menor de 400m.
- Utilizar menores espaciamientos entre postes para reducir la flexión de los postes a través del tiempo debido a las fuerzas horizontales generadas por la tensión de los cables.
- La barrera debe colocarse lo más cerca posible de la cara convexa a efectos de permitir más espacio detrás de la barrera para la deflexión adicional que se produce. Esto también reducirá el número de choques en el sistema ya que el mismo está situado a mayor distancia de las salidas de vía más frecuentes.

- Para las medianas más estrechas, debe considerarse el uso de dos barreras de cable (una a cada lado de la mediana) o una barrera más rígida para reducir la probabilidad de que los vehículos que impactan el lado convexo invadan el carril contrario.

## 7. Curvas Verticales

Colocar barreras de cable en curvas verticales también crea problemas potenciales en el desempeño de la barrera. En tales instalaciones, los cables tensados ejercen fuerzas verticales en los postes. Dependiendo del diseño específico de la barrera, del emplazamiento de los postes y las conexiones entre poste y cable, estas fuerzas verticales podrían levantar el poste del suelo, quitar el poste de su orificio o quitar los cables de los postes, resultando en menor tensión en los cables y alturas incorrectas. Los diseñadores deben estar atentos a esta posibilidad.

Colocar los anclajes terminales tan cerca como se pueda de los puntos mínimos y máximos de la curvatura vertical reduce las fuerzas verticales. El mismo efecto se logra al colocar los anclajes donde hay un cambio brusco de pendiente. Otra solución posible es reducir la separación de los postes en curvas verticales pronunciadas para reducir la componente vertical de la fuerza sobre los postes individuales. Se sugieren las siguientes guías para colocación de barreras de cable en curvas verticales.

- No colocar un tramo de barrera en una curva vertical cóncava de radio menor a 3.000m. En ese caso los especialistas deberán determinar la ubicación más conveniente de los anclajes para que la barrera tenga un adecuado desempeño.
- Los anclajes terminales de la barrera de cable deberían colocarse tan cerca como se pueda de la cima o el fondo de la curva vertical.
- Los anclajes terminales deben colocarse en puntos donde haya un cambio brusco en la pendiente.
- La separación de postes debe reducirse en curvas verticales pronunciadas.
- Se debe considerar cambiar la pendiente de medianas con curvaturas verticales pronunciadas.
- Se deben realizar chequeos frecuentes en el fondo y la cima de curvas verticales para verificar que los cables no se han movido hacia arriba o abajo de las alturas especificadas.

## 8. Transiciones

Debido a las deformaciones propias de una barrera de cable, con frecuencia habrá lugares donde no se puede utilizar este sistema para cubrir un objeto rígido de forma efectiva, como pilares de un puente en una mediana estrecha. En estos casos se debe descartar una barrera de cable en la mediana y colocar una semirrígida.

La FHWA ha emitido cartas de aceptación para diversos diseños de transición de cable a viga bionda, por cumplir las condiciones de prueba nivel 3 del Informe 350 de la NCHRP. Los diseños fueron aceptados basados en pruebas de choque a escala real en concordancia con el Informe 350 de la NCHRP con un diseño de



Dakota del Sur en el cual una barrera genérica de tres cables se superpone con un guardaraíl de viga bionda (anclado por separado), con la barrera de cables anclada independientemente detrás de la viga.



Transición en Barrera Genérica

Después de estas pruebas varios de los fabricantes de sistemas patentados propusieron transiciones similares, con la diferencia básica que los cables se conectaban directamente con la viga bionda, eliminando la necesidad de un anclaje independiente para los cables.



Transición TRINITY CASS



Transición BRIFEN

Actualmente solo las transiciones donde la barrera de cable está alineada con otro sistema han recibido cartas de aceptación, y todas las transiciones se conectan a barreras semirrígidas (viga bionda con postes fuertes).

Se recomiendan las siguientes pautas basadas en los hallazgos descriptos:

- Las barreras de cable no deberían transicionar a barreras rígidas (hormigón) a menos que se realicen pruebas y análisis para lograr un desempeño adecuado.
- La barrera semirrígida a la que se conectan los cables debe ser suficientemente larga y estar anclada adecuadamente para resistir la tensión en los cables. En este estudio se llevaron a cabo simulaciones para identificar la longitud mínima requerida para sistemas de poste fuerte de viga bionda, y resultó ser de 23 m.
- La barrera semirrígida debe estar abierta hacia atrás con una separación adecuada a la barrera de cable. Se recomienda un espacio de 1,2m para esta deflexión.
- La altura de la barrera de cable deberá ser compatible con la barrera semirrígida durante toda la transición.

## 9. Inspección y Mantenimiento

Los sistemas de barrera de cables deben ser mantenidos para garantizar su óptimo rendimiento durante toda su vida útil. Este es un aspecto que debe ser considerado antes de proyectar un sistema de estas características. El organismo responsable debe prever, dentro del proyecto, la planificación y los costos de su mantenimiento.

Este mantenimiento no se limita a la reparación después de los impactos, sino también a revisiones periódicas del sistema completo, a efectos de controlar diferentes aspectos que podrían poner en riesgo al sistema: posible presencia de agua en las bases, socavaciones, alturas de cables, la tensión en los mismos, el correcto funcionamiento de conectores, uniones, tensores, o la falta de algunos de ellos.

Las barreras de alta tensión en general requieren poco mantenimiento si han sido correctamente diseñadas e instaladas. Pueden ocurrir problemas cuando los anclajes y cimientos de los postes no han sido diseñados para el suelo y las condiciones climáticas locales. Los anclajes y cimientos infra dimensionados suelen rotar fuera del suelo o moverse lo suficiente para reducir la tensión de los cables.

Por ello es importante realizar inspecciones periódicas para identificar estos problemas, así como para localizar los daños causados por choques no denunciados.

Los cambios de temperatura también pueden producir grandes cambios en la tensión del cable. Cuando la temperatura baja el cable se contrae, con el consecuente incremento de la tensión. Los aumentos de temperatura expanden el cable, lo cual induce disminuciones de tensión.

Las altas tensiones causadas por el clima frío pueden causar fallas en los anclajes o en las conexiones, por ello es muy importante que se incluyan en los pliegos de licitación las especificaciones de resistencia y los requerimientos de prueba de los tornillos tensores, fijaciones y otros conectores (La resistencia de la conexión debería ser como mínimo la resistencia a rotura del cable), así como las exigencias de tolerancia y la periodicidad con que debe ser controlada la temperatura y la tensión de los cables.

Todo fabricante de barreras de cable debe proveer al cierre de cada obra un Manual de Inspección y Mantenimiento, que debe ser la base y guía para todas las tareas posteriores a la puesta en funcionamiento de un sistema de cables. En dicha publicación se deben encontrar los procedimientos, frecuencias, tolerancias, tablas tensión-temperatura, instrumental y herramientas requeridas, y todo otro parámetro que deba considerarse. La mayoría de los fabricantes también proveen medidores de tensión para los cables.

Dado lo novedoso de este sistema en nuestro país, resultará de suma utilidad llevar el registro estadístico de cada incidente vinculado a los dispositivos a efectos de realizar una eficaz evaluación de su desempeño.

Lo recomendable es prever tres instancias de inspección y mantenimiento:

- Rutina regular
- Rutina detallada
- Después de cada choque

Cada una de ellas tiene sus particularidades que serán analizadas en los siguientes apartados, pero es necesario asumir esta tarea con personal capacitado, entrenado especialmente para ese tipo de dispositivos, y competente, el cual debe disponer de los siguientes elementos al final de cada obra de instalación:

- Especificación Técnica de la obra de Instalación
- Planos conforme a Obra
- Manual de Procedimiento de Inspección y Mantenimiento
- Detalles del sistema

Asimismo, será conveniente tener en cuenta una serie de medidas para que las tareas de Inspección se puedan realizar de manera completa y efectiva:

1.- Una vez finalizada la obra de instalación de barreras de cable, y previo a cualquier tarea de inspección el sector responsable deberá identificar todos los tramos de Barreras instalados en un sistema de inventario para poder realizar una eficiente inspección y su adecuado mantenimiento.

El inventario deberá identificar la ubicación (progresiva y lado de la ruta), largo, tipo de barrera, si los cables poseen uniones, tensión inicial de cada cable, antecedentes de accidentes, etc.. El personal destacado para el trabajo debe llevarlo consigo para facilitar la tarea de control y registro.

2.- Es recomendable identificar las bases de los anclajes con algún tipo de marcación, o pintura que responda al inventario generado, para que resulte más fácil su ubicación en caso de emergencia y más sencillo llevar registros periódicos de cada tarea realizada.





3.- Un tema de preocupación con los sistemas de barreras de cable desde una perspectiva de mantenimiento es la tarea de corte de pasto en todo el sector que los rodea. En todos los tramos instalados debe haber una zona despejada de por lo menos 30 metros previa al extremo del dispositivo. Esta delimitación es importante, sobre todo en la noche, ya que el sistema no es tan visible como otros dispositivos y la presencia de malezas puede ocultarlo, causando riesgos al Usuario.

4.- Mas allá de lo antedicho es fundamental para la eficiencia de la tarea de inspección la coordinación previa con el personal encargado de la limpieza y corte de pasto, garantizando así que todos los elementos: postes, bases, anclajes, etc, sean perfectamente visibles para su correcta inspección.



5.- Todo el personal de inspección debe ser responsable y competente para realizar la tarea. Deben haber completado una capacitación adecuada, deben estar familiarizados con los procedimientos de inspección y las medidas de seguridad laboral para poder realizar la tarea sin correr riesgos ni representar un peligro para los Usuarios de la ruta.

6.- El ente responsable del Control y Mantenimiento, a partir de los inventarios y el registro de los eventos, debe hacer un análisis del número de piezas necesarias para tener en stock, a efectos de poder dar respuesta a los deterioros por accidentes



o situaciones de emergencia que se pudieran generar. Se llevará el registro de las novedades para reponer y mantener el suministro de todas las piezas almacenadas.

#### 9.1. RUTINA REGULAR

La mayor parte de los problemas de mantenimiento no relacionados a los choques involucran a las condiciones del suelo, los cimientos de los postes y de los anclajes.

Algunas barreras ubicadas en el centro de la mediana han tenido problemas con suelos débiles y saturados. Los problemas incluyen desplazamientos de los anclajes y fallas de los cimientos de los postes.

Sin embargo, los mismos problemas se han encontrado en sectores más altos donde el suelo no está saturado. En muchos de estos casos el problema se debía a un anclaje infradimensionado que no pudo resistir la tensión constante de los cables.



Los anclajes son fundamentales en el desempeño de las barreras de alta tensión, por lo tanto deben estar diseñados apropiadamente y colocados en las áreas menos propensas a ser chocadas. Debido al gran número de fallas de anclajes, en Estados Unidos se está comenzando a requerir controles más minuciosos del suelo y mejor diseño en los anclajes.

Las fallas en cimientos de hormigón para postes también puede ser un problema, como se muestra en las siguientes imágenes. La falta de un refuerzo de acero adecuado, diseños infradimensionados, socavación o la expansión del suelo congelado en zonas de clima frío pueden ser las causas asociadas a estas fallas.



Casi todos los problemas de los cimientos de postes y anclajes pueden ser solucionados con mejores diseños de ingeniería, especificaciones más detalladas y mayor supervisión en la construcción, por ello es tan importante llevar un registro minucioso de los daños encontrados en cada inspección, y compartir esta documentación con las áreas de proyecto, a efectos de perfeccionar la metodología de diseño, proyecto, instalación y supervisión de los trabajos de ejecución para las próximas obras que se realicen.

Otro problema posible es la falla de los conectores utilizados en los terminales de anclaje de la barrera o los dispositivos de vinculación entre poste y cable (Ganchos, abrazaderas, clavijas, etc.).

Todas estas deficiencias pueden ser detectadas a través de inspecciones de rutina, que pueden ser realizadas una vez cada dos meses. Cada Organismo responsable podrá elaborar sus propias planillas de Control y Mantenimiento, pero a modo de ejemplo se muestra la siguiente:

Formulario de Inspección de rutina para sistemas de barreras de cables			
Ente Vial Responsable: Jurisdicción: Obra: Empresa: Fecha finalización de obra:			Ruta: Fecha Inspección: Temperatura ambiente: Responsable de la Inspección:
Parte del Sistema	Identificación del Tramo	Tipo de falla	Acción recomendada
Postes			
Bases			
Anclajes			
Cables			
Uniones			
Terminales			
Otros			
Comentarios			

Esta Información deberá volcarse en gabinete, donde se llevará un registro de la historia de las fallas de cada tramo de barrera de esa Obra, y las acciones tomadas en relación con esa Supervisión (número de postes cambiados, tensionado de cables, ganchos y clavijas repuestos, etc.)

## 9.2. RUTINA DETALLADA

La Inspección de Rutina Detallada debe ser realizada a pie, observando cada pieza de los dispositivos inspeccionados y registrando su estado a través de fotografías.

Dependiendo de cada instalación, la cantidad de choques detectados, el tránsito, y otras características, estas revisiones detalladas pueden hacerse una vez por año, por ejemplo, al terminar el invierno en zonas frías, o dos veces por año.

El cable y sus acoplamientos deben ser revisados para encontrar hebras rotas, reducciones del diámetro del cable por abrasión, aplastamiento, retorcimiento o mellado del cable, debilitamiento por corrosión, daño al galvanizado o cualquier deficiencia de los acoples y encastres. Una persona competente debe decidir si descartar o reparar las partes dañadas.



Tensores oxidados



Medidor de tensión

La tensión debe ser medida con el instrumental adecuado, registrando la temperatura del cable al momento de la medición. Si la tensión del sistema es menor a la especificada, las deformaciones serán mayores y el desempeño de la barrera puede no ser eficaz. La tensión puede disminuir debido a movimientos de las bases de anclaje, deslizamiento de los cables en uniones o conectores, temperaturas muy altas o debido a un impacto. Por ello el control sistemático de la tensión se debe realizar, incluso en la ausencia de impactos, con el fin de controlar el rendimiento de la barrera en el tiempo. Esto es particularmente importante durante los primeros años después de la instalación de un sistema.

Por otra parte, la tensión en el cable siempre deberá ser inspeccionada después de cada reparación efectuada, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Se cita a continuación un ejemplo de planilla de constatación, la cual debe estar acompañada del correspondiente registro fotográfico.

Formulario de Inspección Detallada para sistemas de barreras de cables				
Ente Vial Responsable: Jurisdicción: Ruta: Obra: Empresa: Fecha finalización de obra:		Fecha Inspección: Temperatura ambiente: Estado del clima: (Nublado o Soleado) Responsable de la Inspección:		
Aspecto revisado		Identificación del Tramo		
		Tramo 1	Tramo 2	Tramo n
SISTEMA	Impacto probable por los daños visibles			
	Falla por deficiencias en el terraplén			
	Sistema en áreas de acumulación de agua			
POSTES	Poste derribado por posible colisión			
	Poste inclinado en sentido lateral			
	Poste dañado			
BASES	Base rota			
	Base socavada			
	Base hundida			
	Base en sector de acumulación de agua			
CABLES	Tensión (medida con instrumental)			
	Temperatura			
	Cables sueltos			
	Altura de cables incorrecta			
	Cable aplastado o hebras dañadas			
	Falta de clavijas o ganchos de sostén			
ANCLAJES	Bases de anclajes socavadas			
	Falta de cadena de seguridad			
	Fallas en los conectores			
	Piezas de anclaje oxidadas			
	Deslizamiento de los cables en los conectores			
UNIONES	Uniones sobre postes			
	Uniones oxidadas			
	Fallas en Uniones			

Se muestran a continuación algunas imágenes de posibles daños:





Base de anclaje socavada



Base de poste socavada



Poste dañado



Cables sueltos



Inadecuada altura de los cables





Base hundida



Piezas de anclaje oxidadas



Uniones en coincidencia con postes

### 9.3. DESPUÉS DE CADA CHOQUE

Todas las barreras flexibles tienen postes “débiles” que son sacrificados en caso de choque y por lo tanto deben ser reemplazados. Estos postes pueden estar enterrados, insertos en bases de hormigón o en guías en el suelo.





Aquellos que están enterrados o en guías especiales suelen requerir herramientas específicas para ser reemplazados. Aquellos que están en orificios pueden ser reemplazados sin equipo especializado, lo cual reduce el costo de reparación. En temperaturas bajo cero suele haber problemas en la extracción de los postes, ya que estos se congelan en sus encastres. También puede haber inconvenientes si el poste está quebrado al ras del suelo en vez de estar doblado.

El seguimiento de los aspectos clave del mantenimiento asociado a los choques de la barrera de cable, debería incluir:

- Registro de cada impacto que contenga:
  - Ubicación
  - Fotografías
  - Daños a los ocupantes del vehículo
  - Daños al vehículo
  - Número de postes dañados
  - Registro de otros daños (bases de postes, anclajes, clavijas, ganchos, abrazaderas)
- Costos y recursos de reparación
- Demora en repararse
- Tiempo insumido en la reparación



Vaina dañada



Base de poste rota



Base de poste desencajada

Las estadísticas de agencias de EUA que llevan un control minucioso de los daños por impactos sobre las barreras indicarían que el efecto destructivo durante un evento grave puede alcanzar hasta 20 postes y sus piezas asociadas, pero el promedio de postes derribados en un choque es de alrededor de 7 postes.

Con el fin de lograr la reparación oportuna, las oficinas responsables del mantenimiento deben tener un stock adecuado para hacer frente a la situación de varios incidentes graves durante un período relativamente corto de tiempo.

El daño a un sistema de barrera de cable durante el impacto se limita generalmente a postes y conexiones, no obstante, todos los elementos del tramo afectado deben ser inspeccionados. El daño a los cables ocurre raramente; sin embargo, torceduras locales, rotura de algunas hebras o aplastamiento del cable indicarían la necesidad de sustituir la sección dañada. Si una sección del cable debe ser reemplazada, el personal de reparación debe considerar la adición de los tensores necesarios en el lugar dañado para ayudar con el retensado del sistema.

La tensión siempre se debe revisar después de un impacto, ya que tanto las deformaciones del choque como las reparaciones posteriores pueden alterar los valores recomendados por el fabricante.

Las barreras de baja tensión siempre pierden su efectividad después de un choque debido a la falta de tensión en los cables, lo cual los hace aflojarse e incluso llegar a tocar el suelo. En cambio, los sistemas de alta tensión mantienen su efectividad después de un choque siempre y cuando los anclajes permanezcan intactos y no se destruyan demasiados postes, tal como se muestra en la siguiente imagen. Esta es una gran ventaja de los sistemas de alta tensión, ya que no siempre puede garantizarse la inmediata reposición de las piezas dañadas, a veces inclusive por que el conductor ni lo denuncia, al sufrir sólo daños leves.





El sistema mantiene su efectividad

Los responsables del mantenimiento deben realizar un seguimiento de las actividades de reparación en sistemas de barreras de cable con el fin de documentar y evaluar adecuadamente el desempeño de los sistemas y tomar decisiones acertadas sobre futuras instalaciones.

#### 9.4. INTERVENCIONES RECOMENDADAS FRENTE A UN CHOQUE

Resulta particularmente importante tener clara la necesidad de coordinar con los servicios de emergencia que responden frente a un accidente, principalmente policía, bomberos y los entes viales responsables del sector.

Los puntos clave de coordinación, relacionados con la ocurrencia de accidentes son:

- Formación conjunta
- Procedimientos de liberación de vehículos
  
- **Formación Conjunta:**

Todos los entes que tengan competencia en la atención de accidentes y emergencias deben recibir una capacitación sobre los sistemas de barreras de cable de manera que puedan tomar decisiones con seguridad y eficacia cuando están en la escena del incidente.

Esta formación debe incluir el entrenamiento práctico en sectores con barreras de cables de día y de noche, y simulacros de accidentes poniendo énfasis en fomentar una relación de cooperación y beneficio mutuo, y proveyendo a las distintas agencias toda la información contenida en el siguiente apartado.

- **Procedimientos de liberación de vehículos:**

Una de los aspectos más delicados vinculados al accionar de los servicios de emergencia es cuál debe ser la conducta cuando los cables se enreden con un vehículo y éste no pueda ser liberado.



La primera reacción de los servicios de emergencia, es cortar los cables con el fin de retirar el vehículo enredado. Todos los fabricantes de sistemas de barrera de cable brindan las mismas recomendaciones: cortar los cables sólo como un último recurso utilizando extrema precaución, con herramientas y procedimientos adecuados.

Tener en cuenta las siguientes pautas:

- Cortar los cables es un último recurso y sólo es apropiado en situaciones que haya vidas en riesgo.
- El corte del cable deja al sistema fuera de servicio y llevará más tiempo su reparación y reposición.
- Si no hay vidas en riesgo es preferible relajar la tensión de los cables desde los tensores o desde los anclajes, y una vez destesado mover los cables libremente.
- Si es necesario realizar un corte en el sistema es preferible cortar sobre los tensores, o sobre el anclaje, ya que resultará más fácil volver a poner en funcionamiento el sistema.



- Si es necesario cortar uno o más cables, se recomienda el corte entre dos postes cuya posición no haya sido alterada por el choque, para que los cables no estén sometido a múltiples tensiones.
- Cortar sólo el mínimo número de cables necesarios.
- Se recomienda que a los lados del punto donde se va a cortar se envuelva el cable con cinta de embalar para evitar que se deshilache y pueda saltar y dañar a alguien que esté cerca.
- Toda el área por delante y a los costados de los operarios que estén cortando el cable debe estar despejada, ya que pueden estar sometidos a tensiones extraordinarias y producir un latigazo.



- Todos los operarios deben haber sido capacitados, entrenados y contar con los elementos de seguridad y las herramientas apropiadas para realizar la tarea.





## 10. Bibliografía

NCHRP REPORT 711 Guidance for the Selection, Use, and Maintenance of Cable Barrier

NCHRP Report 350 - Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features

HIGHWAY DESIGN MANUAL - Chapter 10 – Roadside Design, Guide Rail and Appurtenances – DOT New York State – USA

DNV – Argentina 2010 Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial, C.7. Ingros. Francisco Sierra y otros, 2010

Working Paper: Analyzing the Effects of End-Anchor Spacing & Initial Tension on Cable Barrier Deflection Using Computer Simulation - Dhafer Marzougui - Cing-Dao (Steve) Kan - The National Crash Analysis Center, The George Washington University - Oct 2009

AN EVALUATION OF BRIFEN WIRE ROPE SAFETY FENCE - VERMONT AGENCY OF TRANSPORTATION - Report 2013

GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO, APLICACIÓN Y USO DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR - República de Colombia - Corporación Fondo de Prevención Vial

EXISTING FACILITIES, CONSTRUCTION ZONA GUIDANCE SPECIAL TOPICS REFERENCES APPENDIX A – SPOT EVALUATION OF DESIRABLE CREAT ZONE WIDTHS 3 BARRERAS DE CABLE EN LOS EUA Experiencia con Barreras de Mediana de Cable en los EUA: Normas, Políticas y Desempeño.

MANUAL Std. Pub. Guidelines for traffic Barrier – May, 2013

Install Guide Version 6.0 - Gibraltar

Safence Wire Rope Safety Fence – Manual de Instalación

Nu-Cable™ Cable Barrier Systems - INSTALLATION MANUAL

CASS™ TL-3 & TL-4 SYSTEMS - Assembly Manual – TRINITY HIGHWAY PRODUCTS

BRIFEN Design Manual – BRIFEN AUSTRALIA – July, 2009

Product & Install Manual: Brifen Wire Rope Safety Barrier – CSP Pacific – June, 2012

Product & Install Manual: Brifen Wire Rope Safety Barrier – CSP Pacific – January, 2016

DETERMINACION DE LA LONGITUD TOTAL DE NECESIDAD EN BARRERAS -  
AUTORES: Victor Arturo Garcete Martínez - Carlos Ignacio Sarrasqueta  
INSTITUCIÓN: CONSULBAIRES Ingenieros Consultores SA - CSA GROUP PAÍS:  
Argentina - XVI CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO  
OCTUBRE DE 2012 – CÓRDOBA, ARGENTINA

Cable Median Barrier Maintenance Manual TEXAS Department Of Transportation –  
August, 2008 – EEUU

High Tension Cable Barrier - Michigan Traffic & Safety Summit - March, 2010 -  
Carlos Torres, P.E. Division of Operations - Michigan Department Of Transportation -

**COORDINADORES DE LA PRESENTE GUÍA**

**Adriana Garrido**

Ingeniera Civil UBA

Ex Docente Facultad de Ingeniería UBA

Jefa División Proyectos e Ingeniería Vial DNV – Distrito Chaco

Representante de la DNV en Consejo Provincial de Seguridad Vial – Chaco

Capacitadora de la DNV

Integrante de la Comisión de S.V. de la AAC.

**COLABORARON EN CARÁCTER DE ASESORES TÉCNICOS:**

Ing. Mario Jorge Leiderman

Ing. Jorge Lafage

Ing. Eduardo Lavecchia

A partir de la edición de la presente Guía 5 (1° de abril 2016) y por el término de un año, se requiere de la comunidad a modo de discusión pública y aporte desinteresado, la colaboración de todos aquellos técnicos o profesionales que deseen hacer llegar al seno de la Comisión de Seguridad Vial de la Asociación Argentina de Carreteras, inquietudes, correcciones y/o contenidos actualizados e innovadores sobre la temática tratada, con el objeto de optimizar esta publicación.