

Validación y aplicaciones de modelo computacional de barrera de contención vial certificada, incluyendo modelo de suelo, de acuerdo con la norma europea.

Validation and applications of a certified road barrier computational model, including soil model, in accordance with European standards.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Nicolás Ramírez¹, Joaquín Fuentealba²

¹ Tecnovial S.A., Santiago, Chile, nramirez@tecnovial.cl

² Tecnovial S.A., Santiago, Chile, jfuentealba@tecnovial.cl

Historial del artículo:

Resumen

Recibido
21-06-2024
Aceptado
09-12-2025
Publicado
30-12-2025

En este trabajo, se desarrolla una metodología para validar modelos virtuales de barreras de contención certificadas, aplicando las directrices que indica la norma europea. La necesidad de la validación nace de las necesidades de las carreteras del país de asegurar el buen desempeño de un sistema de contención vial frente a diferentes situaciones de riesgo, las cuales no siempre se pueden verificar por ensayos reales. También, contar con un modelo numérico confiable tiene otras ventajas destacadas: es una herramienta para el diseño de nuevas barreras o de soluciones particulares de seguridad vial; permite evaluar la variación de la contención de un sistema con modificaciones en su diseño. Finalmente, en este trabajo, se añade un modelo de suelo, para incluir dentro de estas evaluaciones las condiciones de terreno, campo que no se contempla en las normas que rigen las certificaciones de sistemas de contención vial.

Palabras Clave:

Abstract

Seguridad vial
Elementos finitos
Validación
Norma Europea
Article history:

This paper develops a methodology for validating virtual models of certified crash barriers, applying the guidelines set out in the European standard. The need for validation arises from the requirements of the country's roads to ensure the proper performance of a road restraint system in different risk situations, which cannot always be verified by real-world testing. Having a reliable numerical model also has other notable advantages: it is a tool for designing new barriers or specific road safety solutions; it allows the variation in the containment of a system to be evaluated with modifications to its design. Finally, in this work, a soil model is added to include terrain conditions in these evaluations, a field that is not covered by the standards governing the certification of road containment systems.

Received
21-06-2024
Accepted
09-12-2025
Available
30-12-2025

Keywords:
Road safety Finite
elements
Validation
European standard

* Corresponding author at: Nicolás Ramírez, Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile.

Área de Investigación y Desarrollo, Tecnovial S.A., Santiago, Chile. E-mail address; nramirez@tecnovial.cl
RIOCI

journal homepage: <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioci/index>

Vol. 13, no. 03, pp. 46–57, Diciembre 2025

1. Introducción

Desde hace algún tiempo ha existido un aumento significativo del parque vehicular y un importante desarrollo inmobiliario en zonas rurales y los servicios asociados; esto ha afectado la operación de las rutas. El uso de barreras certificadas como SCV (Sistema de Contención Vial) busca entregar más antecedentes acerca de su desempeño, pues éstas, a diferencia de las barreras no certificadas, han sido ensayadas en un ITT (Initial Type Test, o Ensayo Tipo Inicial) de acuerdo con los criterios indicados en la norma EN 1317/2:2011. De esta manera, se cuenta con información del tipo de vehículo que puede contener, la velocidad y el ángulo de impacto, la deformación máxima de la barrera, entre otros indicadores, los cuales son utilizados para el diseño y la seguridad vial de los caminos del país.

Los indicadores mencionados anteriormente siguen siendo válidos mientras las condiciones de impacto sean iguales a las que fueron ensayadas. Sin embargo, por restricciones presentes en terreno u otros motivos, no siempre es posible reproducir las condiciones de ensayo, por generarse diferencias desde varias fuentes, tales como: modificación de terminales para ajustarse a condiciones de terreno, tramo disponible más corto que el largo mínimo ensayado, cambio en algunos elementos de pernería, existencia de transiciones entre diferentes modelos de barreras, presencia de soleras o cunetas, propiedades de suelo diferentes, presencia de terraplenes que condiciona un Sobre Ancho de Plataforma (SAP) mínimo de 1 metro, entre otros.

Estas diferencias pueden clasificarse en diferencias de diseño o de terreno. Las primeras corresponden a diferencias en la disposición, calidad o materialidad de los componentes que conforman el SCV. Las diferencias de terreno, en cambio, son externas al diseño y propias del lugar de instalación de la barrera.

Las modificaciones de diseño de un sistema de contención pueden clasificarse de acuerdo al efecto que éstas tengan en la contención. La norma EN 1317/5:2008+A2:2012 define las categorías de la Tabla 1.

En la misma norma, se menciona que es posible utilizar un modelo computacional de un SCV, validado previamente por comparación con el ITT, para evaluar el comportamiento de dicho producto ante una modificación. La validación de los cálculos deberá ser realizada por una tercera parte independiente.

Tabla 1. Categorías de modificaciones según EN 1317-5.

Categoría	Cambio	Descripción de las modificaciones
A	Leve	Modificaciones que no producen cambios mecánicos en el SCV.

B Moderado Sus efectos en el comportamiento del SCV pueden ser determinados mediante análisis estático o dinámico u otros medios apropiados.

C Importante Modificaciones mayores que en A o B.

Lo descrito en los párrafos anteriores denotan el potencial de contar con un modelo computacional validado, pues se convertiría en una herramienta de evaluación del comportamiento de la barrera ante diversas condiciones de instalación. Incluso, si las modificaciones son de categoría C y se requiera la realización de más ensayos de impacto reales, la herramienta numérica sería capaz de caracterizar el desempeño del nuevo diseño de barrera, e incluso servir para evaluar el diseño y desempeño de nuevas barreras de contención para nuevas certificaciones. En efecto, varios laboratorios ofrecen o subcontratan el servicio de simulación computacional del ensayo de impacto, previo a su ejecución real, para reducir los costos asociados a la repetición iterativa de varios ensayos en terreno.

En el presente trabajo, se realizará la validación de un modelo computacional de la barrera certificada modelo TRVH1BL2A, fabricada por Tecnovial S.A. Este modelo incluirá también un modelo de suelo, de manera de integrar la evaluación de diversos terrenos diferentes al ensayado, además de las modificaciones del diseño mismo de la barrera. La validación se realizará en acuerdo con lo indicado en la norma EN 16303:2021, utilizando el ensayo de impacto real de la barrera en estudio como referencia experimental. La metodología utilizada para esta barrera en particular podrá replicarse para validar otros modelos en el futuro.

2. Metodología

2.1 Características de la barrera certificada.

La barrera certificada en estudio es modelo TRVH1BL2A, fabricada por Tecnovial S.A., y corresponde a una barrera metálica con baranda doble onda, sin separador, con postes cada 2 metros. La Figura 1 muestra un plano isométrico de un tramo unitario de 4 metros.

Figura 1. Tramo unitario de la barrera TRVH1BL2A.

Esta barrera fue sometida satisfactoriamente a los ensayos TB11 y TB42 según nomenclatura de EN 1317/2. Los resultados de la contención se indican en la Tabla 2, según el Certificado de Constancia de Prestaciones emitido por el laboratorio a cargo (Aisico, 2020).

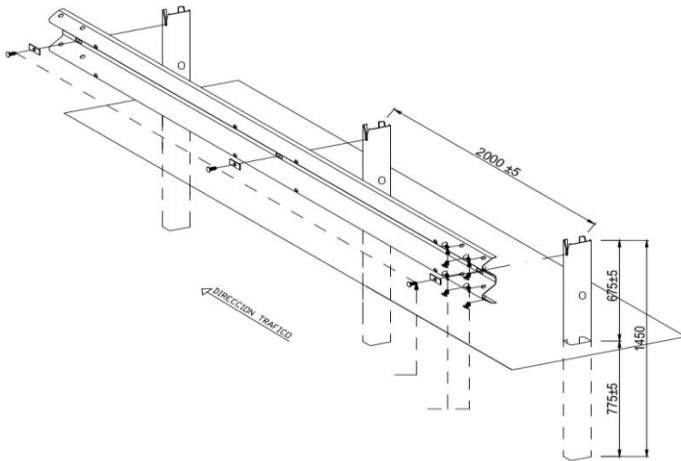


Tabla 2. Resultados de los ITT reales, aplicados a la barrera TRVH1BL2A.

I	Nivel de Contención (NC)	Severidad del Impacto	Parámetros normalizados		
			Ancho de trabajo (W_N)	Intrusión vehículo (V_{IN})	Deflexión dinámica (D_N)
TRVH1BL2A	H1 Nivel Medio (*)	A $ASI \leq 1,0$ $THIV \leq 33$ km/h	W4 $\leq 1,3$ m ($W_N = 1,2$ m)	VI6 $\leq 2,1$ ($V_{IN} = 1,9$ m)	m 1,1 m

(*): Según Tabla 6.502.603.B del MC-V6.

2.2 Características de los ensayos y vehículos.

La norma europea EN 1317/2 describe los parámetros de los ensayos mencionados. La Tabla 3 menciona el tipo de vehículo y su masa, correspondiente a cada caso de ensayo, junto a la velocidad y ángulo de impacto. La Tabla 4 muestra la caracterización cada vehículo y tolerancias.

Tabla 3. Parámetros generales de los ensayos de impacto aplicados.

Ensayo de impacto	Velocidad de impacto (*)	Angulo de impacto (*)	Masa del vehículo	Tipo de vehículo
TB11	100 km/h	20°	900 ± 40 kg	Turismo
TB42	70 km/h	15°	10000 ± 300 kg	Camión no articulado

(*): Las tolerancias de la velocidad y ángulo de impacto siguen una regla combinada, de acuerdo a EN 1317/2.

Tabla 4. Propiedades importantes de vehículos de los ensayos de impacto aplicados.

Ensayo de impacto	Largo vía delantera y trasera (L_v)	Posición del centro de masa (CM)		
		Longitudinal desde el eje delantero (XCM)	Lateral desde el eje del vehículo (YCM)	Altura desde el terreno (ZCM)
TB11	1,350 ± 0,203 m	0,90 ± 0,09 m	± 0,07 m	0,49 ± 0,05 m
TB42	2,0 ± 0,3 m	2,70 ± 0,27 m	± 0,10 m	1,50 +0,15/-0,08 m

2.3 Desarrollo del modelo computacional

Para desarrollar el modelo virtual de los ITT, se debe utilizar un software FEM (Finite Element Method, o Método de Elemento Finito) capaz de representar efectivamente fenómenos físicos que involucran grandes deformaciones. La bibliografía especializada utiliza ampliamente el software LS-Dyna para modelar fenómenos de impacto. Por lo tanto, se opta por el uso

de esta herramienta.

Para modelar el SCV, se tienen diferentes consideraciones geométricas y de formulación, descritas en la sección 2.3.1. Los modelos de los vehículos, para efectos de este estudio, son recopilados por la American NCAC (National Crash Analysis Center), desarrollados por el Politecnico di Milano, los cuales se

declaran como validados para la aplicación de la norma EN 1317 y se muestran en 2.3.2.

2.3.1 Modelo de la barrera certificada.

Se modela únicamente el tramo recto del sistema ensayado, más 4 metros ($48 + 4 = 52$ metros), de manera de incluir una aproximación de deformación del terminal más próximo. Se reemplazan los terminales por una condición de borde fijo en los extremos, lo cual logra un efecto similar: rigidizar los bordes del tramo. Este supuesto es válido, puesto que en el reporte del ITT real se reportan 17 postes deformados en torno a la zona de impacto.

Se utilizan elementos Shell 2D para la baranda y los postes, pues este tipo de elemento modela bien los componentes cuyo espesor es despreciable frente al resto de sus dimensiones.

Se simplifican las uniones apernadas: Cerca de la zona de impacto, las uniones utilizan elementos Beam 1D con extremos empotrados a las piezas que unen. Este supuesto considera que el modo de falla de la pernería será el corte del vástago del perno; Lejos de la zona de impacto, las uniones son “soldadas” (uniones rígidas sin criterio de falla), pues en esa zona no se espera rotura de los pernos.

Se implementa una base cilíndrica con elementos 3D Solid para cada poste como modelo de suelo, con un radio de 400 mm y una altura de 775 mm, correspondiente al largo enterrado del poste. Este modelo se aplicará solo en la vecindad del impacto, donde la interacción entre poste y suelo es más importante. Lejos de la zona de impacto, en lugar de implementar suelo, se definen las secciones enterradas del poste empotradas. El exterior del suelo será también empotrado, y se define un contacto “fluido” entre suelo y poste, donde se permita el movimiento del poste a través del suelo.

El mallado también se realiza de manera diferenciada: Cerca de la zona de impacto, la malla será más fina (tamaños de elementos entre 5 y 20 mm) para mejorar la precisión de la deformación tras el impacto; Lejos del impacto, la malla será más gruesa, para así reducir tiempos de cálculo (tamaños de elementos entre 20 y 100 mm).

Al implementar las consideraciones anteriores, tomando en cuenta la geometría y las dimensiones de los elementos en los planos específicos del sistema, se obtiene la geometría y malla descritas en las Figura 2, 3 y 4, y en la Tabla 5.



Figura 2. Modelo del tramo ensayado.

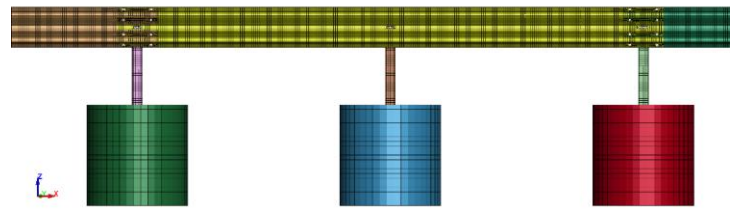


Figura 3. Refinamiento de malla en zona de impacto.

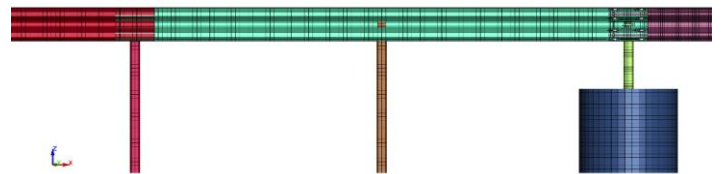


Figura 4. Simplificación de modelo y malla lejos de la zona de impacto.

Tabla 5. Estadística de malla del modelo FEM de barrera.

Cantidad de Nodos	Cantidad de Elementos 1D Beam	Cantidad de Elementos 2D Shell	Cantidad de Elementos 3D Solid
360.549	81	117.882	209.814

Finalmente, queda definir los materiales y sus relaciones constitutivas. Esta información se resume en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Propiedades de componentes de acero.

Componente	Material / Calidad	Módulo Elástico (MPa)	Densidad (kg/m ³)	Coef. Poisson	Esfuerzo de Fluencia (MPa)
Baranda	S355	2,0 E+05	7850	0,3	440-520
Poste C	S355	2,0 E+05	7850	0,3	470-550

Tabla 7. Relaciones constitutivas utilizadas.

Componentes	Tipo de Elemento	Relación constitutiva *MAT_	Integración
Pernería	Beam 1D	SPOTWELD	Hughes-Liu cross section integration
Barandas y Postes	Shell 2D	PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY	Belytschko-Wong-Chiang
Suelo	Solid 3D	FHWA_SOIL_NEBRASKA	Fully Integrated

Para los elementos de acero, se utilizan las propiedades del material, de acuerdo con lo indicado en el informe del ITT y a las normas que los rigen. La relación constitutiva debe considerar un comportamiento elasto-plástico, dadas las grandes deformaciones que sufrirán los elementos en torno al impacto.

Para el caso del suelo, la formulación a utilizar es un caso especial de FHWA_SOIL, configurado con los parámetros y propiedades del material del suelo de la Universidad de Nebraska, mostrados en *Evaluation of LS-DYNA Soil Material Model 147* (FHWA, 2004). Debido a que existe una equivalencia entre el modelo de Nebraska y el FHWA_SOIL general, este modelo abre la posibilidad de realizar simulaciones de impacto con suelos de diferentes propiedades.

La implementación de esta relación constitutiva particular se explica por el fenómeno de “shooting nodes” en LS-Dyna, que ocurre debido a la inestabilidad numérica generada por la eliminación de elementos al erosionarse el suelo durante la simulación. De acuerdo con (FHWA, 2004) y a lo observado mediante pruebas, la aplicación del modelo FHWA_SOIL reduce los “shooting nodes”, si se compara con otras relaciones para suelos como DRUCKER_PRAGER, aunque no los elimina en su totalidad.

2.3.2 Modelos de los vehículos

La Figura 5 y las Tablas 8 y 9 describen los modelos de los vehículos turismo de 900 kg y el camión de 10.000 kg, utilizados para los ensayos TB11 y TB42, respectivamente. El vehículo liviano permite obtener información de la severidad del impacto sobre el conductor, mientras que el vehículo pesado determina las propiedades de contención más críticas que puede soportar la barrera del NC declarado.

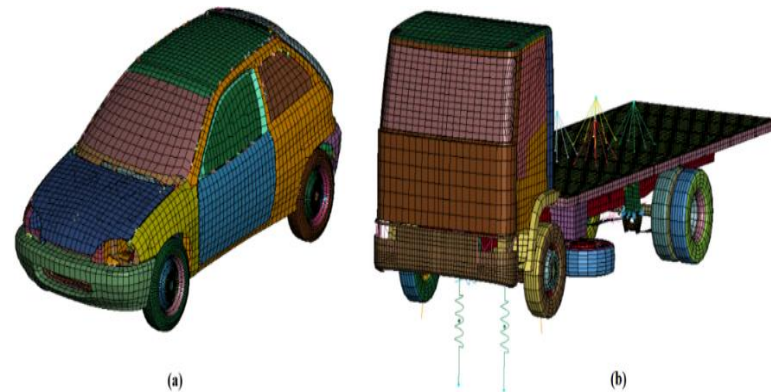


Figura 5. Modelo FEM vehículos: (a) turismo 900 kg, (b) camión 10.000 kg.

Tabla 8. Propiedades cuantificadas de los modelos FEM de los vehículos.

Vehículo	Masa	Lv	Posición del centro de masa (CM)		
			XCM	YCM	ZCM
Turismo 900 kg	887,6 kg	1,382 m	0,867 m	0,030 m	0,510 m
Camión 10.000 kg	10.057 kg		2,704 m	0,004 m	1,171 m

Tabla 9. Estadística de malla de los modelos FEM de los vehículos.

Vehículo	Cantidad de Nodos	Cantidad de elementos		
		1D Beam	2D Shell	3D Solid
Turismo 900 kg	28.656	2	24.061	820
Camión 10.000 kg	29.535	28	25.784	1.088

2.4 Procedimiento de validación.

La validación del modelo numérico se puede separar en las siguientes subvaluaciones:

- a) Validación del vehículo: Propiedades dentro de las tolerancias y validación cualitativa de su comportamiento ante situaciones tipo, según EN 16303.

- b) Validación del ensayo: Verificar que se cumplen los parámetros de la Tabla 3.
- c) Validación del comportamiento de la barrera: Comparar los valores numéricos de ancho de trabajo y deflexión dinámica con los obtenidos en el ensayo real. Para el ensayo TB42, se añade también la intrusión del vehículo dentro de estos parámetros a comparar. Verificar que las variaciones están acordes a la norma EN 16303. Evaluar cualitativamente los criterios de aceptación del comportamiento de la barrera en cada ensayo, según EN 1317.
- d) Validación del comportamiento del vehículo: Evaluar cualitativamente los criterios de aceptación de comportamiento del vehículo en el ensayo, según EN 1317. Comprobar gráficamente el criterio del recinto de salida.
- e) Validaciones adicionales para TB11: Se añaden para este ensayo la verificación de los indicadores THIV y ASI, y comprobar que sus variaciones están acotadas según EN 16303. También debe compararse la trayectoria numérica del vehículo contra la real medida, asegurándose que las variaciones están dentro de las tolerancias definidas por norma.

Este trabajo, por extensión, excluirá las validaciones de los vehículos, el THIV y la trayectoria del vehículo para TB11, las cuales si deben incluirse en un informe de validación completo. En la sección de Análisis de resultados, se mostrarán imágenes y tablas comparativas de los criterios cuantitativos y cualitativos de validación, mostrando los resultados obtenidos en el ensayo real versus el numérico, además del criterio de aceptación que indica la norma EN 16303.

3. Análisis de resultados

3.1 Comparación visual ensayo real vs simulación.

A continuación, las Figuras 6 y 7 muestran vistas de planta y frontal del ensayo TB11, comparando los resultados virtuales obtenidos con el procedimiento descrito en la sección 2 contra el ensayo real realizado por el laboratorio Aisico. Las Figuras 8 y 9 muestran los mismos resultados, correspondientes al ensayo TB42.

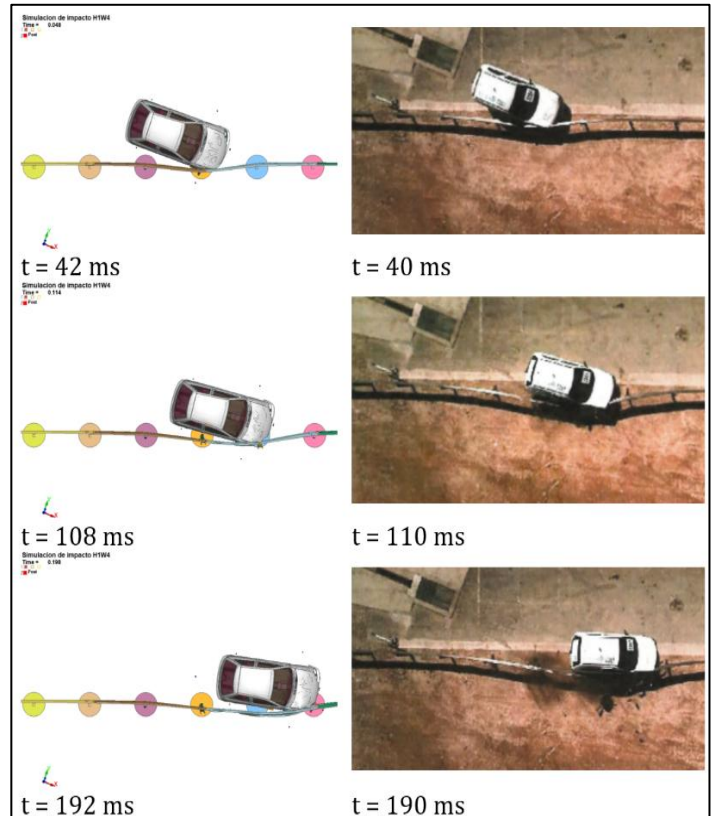


Figura 6. Ensayo TB11 virtual vs real, vista de planta. Tiempo desde primer contacto.

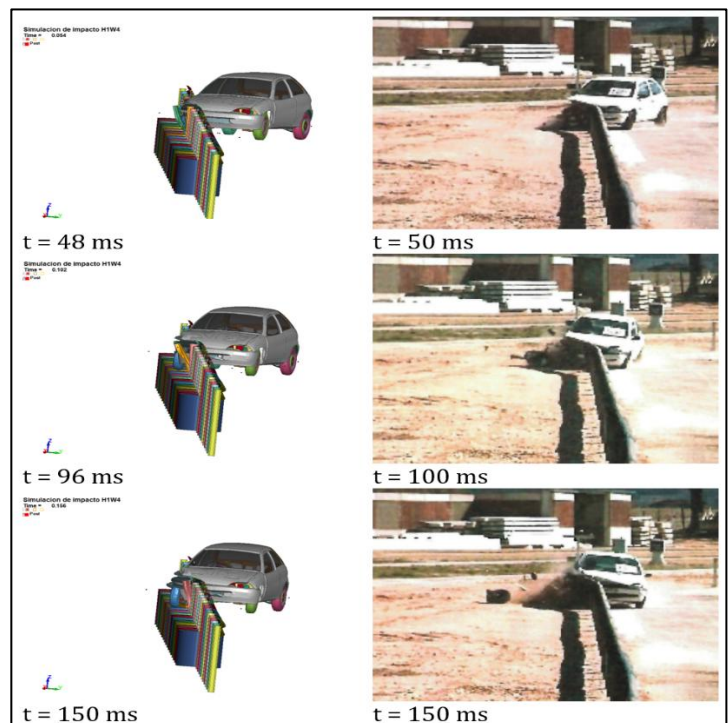


Figura 7. Ensayo TB11 virtual vs real, vista frontal. Tiempo desde primer contacto.

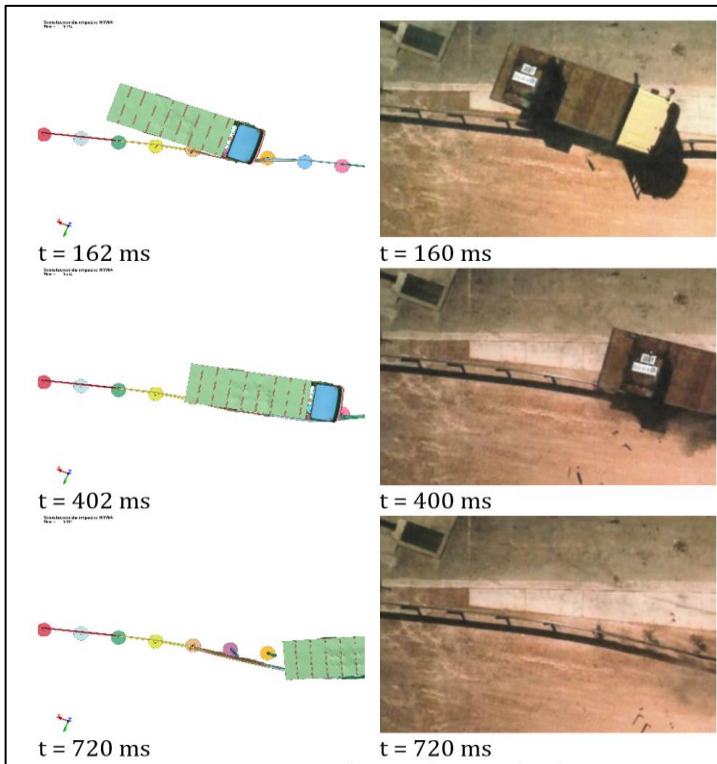


Figura 8. Ensayo TB42 virtual vs real, vista de planta. Tiempo desde primer contacto.

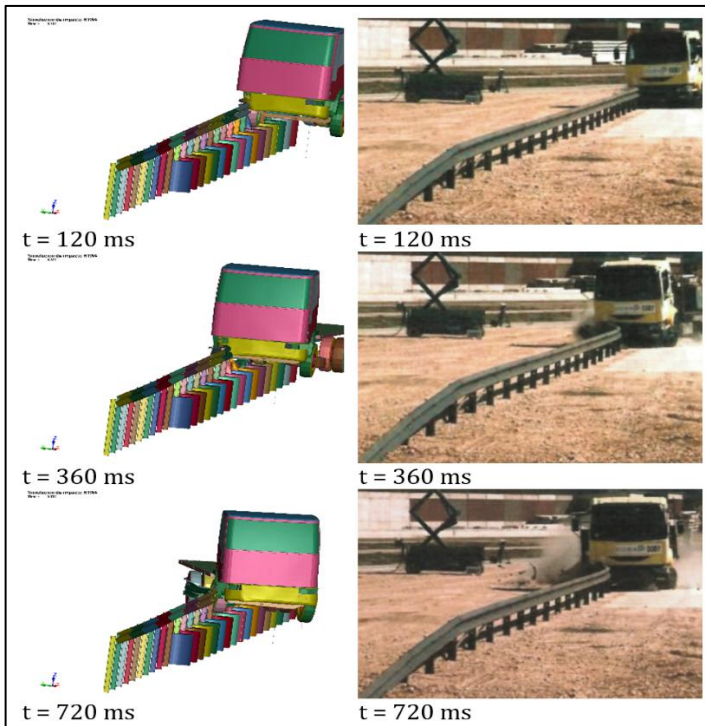


Figura 9. Ensayo TB42 virtual vs real, vista frontal. Tiempo desde primer contacto.

3.2 Validación del modelo numérico

Las Tablas 10 y 11 resume los parámetros y resultados obtenidos de la simulación, calculados según lo indicado en EN 1317-1:2011, junto a los criterios de aceptación según EN 16303:2021, y la comparación con lo obtenido en el ensayo real, para el ensayo TB11. Las Tablas 12 y 13 hacen lo propio para el ensayo TB42. El detalle del cálculo realizado para la obtención de los resultados de ensayo se omite en este trabajo por extensión, pero se podrá consultar en el informe de validación completo.

Tabla 10. Resumen de evaluación cuantitativa ensayo TB11 según EN 16303.

Parámetros	Ensayo real	Ensayo virtual	¿Concuerda?
Condiciones de ensayo			
Masa vehículo	939,1 kg	888,5 kg	Si*
Velocidad vehículo	100,7 km/h	102,5 km/h	Si*
Ángulo de impacto	20,1°	20°	Si*
Resultados de ensayo			
Deflexión dinámica normalizada (D_N)	0,8 m	0,5 m	No
Ancho de trabajo normalizado (W_N)	0,9 m	0,6 m	No
Categoría de ancho de trabajo	W3	W1	No
Índice de severidad de la aceleración (ASI)	0,9	1,0	Si
Tiempo ASI máximo	515 ms	530 ms	Si

Tabla 11. Resumen de evaluación cualitativa ensayo TB11 según EN 16303.

Criterio	Ensayo real	Ensayo virtual	¿Concuerda?
Comportamiento de la barrera			
La barrera contiene al vehículo	Si	Si	Si
Hay rotura completa de algún elemento longitudinal	No	No	Si
Hay desprendimiento de elementos mayores a 2 kg	No	No	Si
Comportamiento del vehículo			
Hay volcamiento del vehículo	No	No	Si
Máximo 1 rueda traspasa la barrera	Si	Si	Si

Tabla 12. Resumen de evaluación cuantitativa ensayo TB42 según EN 16303.

Parámetros	Ensayo real	Ensayo virtual	¿Concuerda?
Condiciones de ensayo			
Masa vehículo	9.862	10.057	Si*
Velocidad vehículo	70,8 km/h	70,92 km/h	Si*
Ángulo de impacto	15,2°	15°	Si*
Resultados de ensayo			
Deflexión dinámica normalizada	1,1 m	1,2 m	Si

Ancho de trabajo normalizado	1,2 m	1,3 m	Si
Categoría de ancho de trabajo	W4	W4	Si
Intrusión del vehículo normalizada	1,9 m	1,8 m	Si
Categoría de intrusión del vehículo	VI6	VI6	Si

Tabla 13. Resumen de evaluación cualitativa ensayo TB42 según EN 16303.

Criterio	Ensayo real	Ensayo virtual	¿Concuerda?
Comportamiento de la barrera			
La barrera contiene al vehículo	Si	Si	Si
Hay rotura completa de algún elemento longitudinal	No	No	Si
Hay desprendimiento de elementos mayores a 2 kg	No	No	Si
Comportamiento del vehículo			
Hay volcamiento del vehículo	No	No	Si
Máximo 1 rueda traspasa la barrera	Si	Si	Si

La Figura 10 muestra un gráfico del índice de severidad de la aceleración (ASI) obtenido en el ensayo real, y se compara superponiendo el gráfico del ASI calculado con la simulación, siguiendo el procedimiento indicado en EN 1317-1:2011.

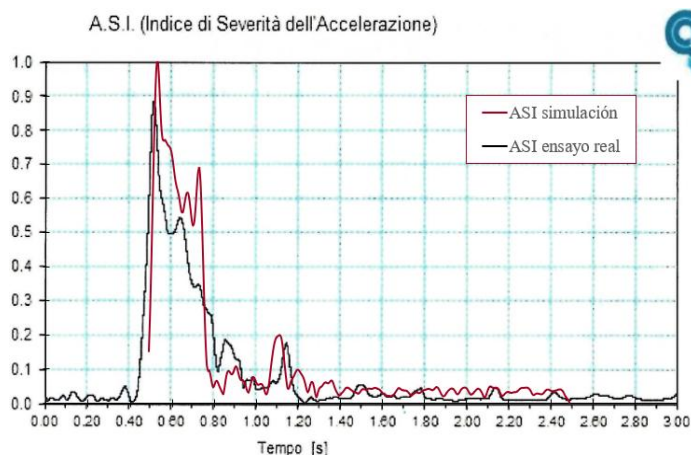


Figura 10. A.S.I medido en ensayo real vs ASI calculado por simulación.

3.3 Costo computacional.

Las simulaciones fueron realizadas en un equipo con procesador Intel Core i9 3.2 GHz y 4x16 Gb de RAM. Se utilizaron dos núcleos para simular, según los recursos disponibles.

Los tiempos de simulación fueron de 160 horas por cada ensayo de impacto.

3.4 Discusión de resultados.

Al aplicarse el procedimiento de validación descrito en la sección de Metodología, y observando los resultados presentados, se pueden notar aciertos, diferencias y propuestas para mejorar.

Entre los aciertos, se puede observar una alta fidelidad entre el ensayo y lo testeado en el ensayo TB42, obteniendo concordancia completa en los criterios de aceptación evaluados en las Tablas 12 y 13. Las Figuras 8 y 9 también muestra un comportamiento del vehículo similar para tiempos similares.

En el caso del ensayo TB11, la evaluación cualitativa resultó también positiva. Sin embargo, se observan diferencias fuera de tolerancia en la deflexión dinámica y ancho de trabajo. De hecho, se observa en las Figuras 6 y 7 que la deformación de la barrera en la simulación numérica es menor que lo evidenciado en el ensayo real. Una posible fuente de diferencia podría ser enfoque plástico del modelo numérico, donde el comportamiento elástico de los materiales se desprecia, supuesto que podría ser menos válido en un impacto de menor energía, como es el caso del vehículo turismo, provocando que la barrera sea más rígida de lo esperado para esfuerzos menores.

También se presentan diferencias en las condiciones del ensayo (Tablas 10 y 12). La diferencia en la masa se debe a la disponibilidad de modelos de vehículo, que no coincide necesariamente con el modelo ensayado para la certificación. La velocidad, por su parte, se ajusta por la transmisión misma del vehículo u otros factores, como el roce con el suelo y otras partes. Para un informe de validación, se deberá procurar reducir a cero estas diferencias, según indica EN 16303. La aprobación de los criterios de condiciones de ensayo mostrado en las Tablas 10 y 12 se basa en el cumplimiento de las tolerancias nominales para los ensayos reales, definidas en la Tabla 3.

Para la evaluación de la severidad de impacto del ensayo TB11, se ha considerado solo el parámetro ASI. Los valores obtenidos en la simulación se corresponden con lo ensayado dentro de la tolerancia que define EN 16303, según la Tabla 10, y su comportamiento en el tiempo es muy similar según se observa en la Figura 10. Respecto a la velocidad teórica de impacto de la cabeza (THIV), se requiere la inclusión de un modelo dummy en el asiento de piloto, el cual no está contemplado en el modelo presentado, pero debe ser incluido para la validación completa.

En general, los criterios de aceptación aquí evaluados se cumplen, pero queda propuesto la evaluación de los demás criterios que, por extensión, se han dejado fuera de este trabajo,

de manera de cumplir todos los requisitos para la validación del modelo virtual que la norma EN 16303 dispone.

El diseño del modelo tiene simplificaciones, como los terminales fijos, los pernos tipo “beam”, el engrosamiento de la malla lejos del impacto, o la falta de un modelo de dummy. Estas simplificaciones deben ser reevaluadas al utilizar el modelo en otras aplicaciones, donde estos supuestos dejen de ser válidos. El modelo, por lo tanto, se debe plantear lo suficientemente flexible para cubrir todas las situaciones de interés, y seguir desarrollándose según sus aplicaciones.

4. Conclusiones

Este trabajo realizó una validación parcial de un modelo numérico de barrera, de acuerdo a la norma EN 16303, que plantea metodologías para determinar la confiabilidad de un modelo virtual, en contraste con el dispositivo real. Dentro de las principales conclusiones, se cuentan:

- El modelo cumple con la mayoría de los criterios de aceptación evaluados. Por lo tanto, se acredita su confiabilidad en los parámetros evaluados.
- La validación completa del modelo, de acuerdo a la norma europea, permitiría su uso como herramienta de apoyo para informes técnicos para respaldar modificaciones a los SCV, aumentando la flexibilidad del uso de una barrera certificada.
- Un modelo confiable permitiría también apoyar el diseño y especificación de los SCV, entregando alternativas certificadas o validadas para las diversas situaciones que pueden afectar a los caminos y carreteras del país.
- La inclusión de parámetros de montaje, como el suelo, permitirían evaluar también situaciones de terreno, más allá de las modificaciones en el diseño.

5. Referencias

- EN 1317-1 (2011). *Sistemas de contención para carreteras – Parte 1: Terminología y criterios generales para los métodos de ensayo.*
- EN 1317-2 (2011). *Sistemas de contención para carreteras – Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de impacto y métodos de ensayo para barreras de seguridad incluyendo pretiles.*
- EN 1317-5 (2012). *Sistemas de contención para carreteras – Parte 5: Requisitos de producto y evaluación de la conformidad para sistemas de contención de vehículos.*
- EN 16303 (2021). *Sistemas de contención para*

carreteras – Proceso de validación y verificación para el uso de ensayos virtuales en ensayos de impacto contra sistemas de contención de vehículos.

- Ministerio de Obras Públicas - Dirección de vialidad, Gobierno de Chile (2022). *Manual de carreteras. Volumen 6: Seguridad vial.*
- Research, Development and Technology, Federal Highway Administration (2004). *Evaluation of LS-DYNA Soil Material Model 147.*
- Web.archive.org (2023). *Finite Element Model Archive.* [en línea] disponible en: <<http://web.archive.org/web/20160408180243/http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>> [Acceso 23 de enero 2023].