

Informe provisional de suceso automotor

Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores

Suceso: accidente automotor

Tipo de evento: despiste y choque contra barrera de contención lateral metálica semirrígida

Lugar: Ruta Nacional 7, kilómetro 112,200

Localidad San Andrés de Giles

Provincia: Buenos Aires

Vehículo: un automóvil híbrido, marca Mondeo, modelo Vignale

Personas y resultados: una persona fallecida

Junta de Seguridad en el Transporte
Florida 361, piso 8º Argentina
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1005AAG
0800-333-0689
www.argentina.gob.ar/jst info@jst.gob.ar

Informe Provisional de Seguridad Operacional

Publicado por la JST. En caso de utilizar este material de forma total o parcial se sugiere citar según el siguiente formato: Fuente: Junta de Seguridad en el Transporte.

presente informe se encuentra disponible en www.argentina.gob.ar/jst

Índice

1. Nota introductoria	4
1. 1. Presentación de la JST	4
1.2. Premisas del modelo sistémico.....	4
1.3. Características particulares del suceso	5
2. Descripción de los datos obtenidos	6
2.1. Reseña del suceso	6
2.2. Resultados del accidente	7
2. 5. Eventos, procesos, condiciones de la vía, del entorno y del conductor	13
3. Acciones desarrolladas.....	20
4. Líneas de investigación	21
5. Referencias bibliográficas	23
Anexo 1. Relevamiento del lugar del accidente.....	24
Anexo 2. Dinámica del suceso.....	27

1. Nota introductoria

1. 1. Presentación de la JST

En el año 2019, al declararse la política de seguridad en el transporte como objeto de interés público nacional, se creó la Junta de Seguridad en el Transporte (JST), organismo independiente y descentralizado que funciona en la órbita del Ministerio de Transporte de la Nación (Ley 27514).

El objetivo de la Junta es contribuir al desarrollo de políticas que aporten a consolidar un sistema de transporte seguro, eficiente y sustentable. Su línea de acción consiste en investigar con un carácter estrictamente técnico los factores relacionados con accidentes e incidentes. Dichas investigaciones no condicionan ni prejuzgan cualquier otra de índole administrativa o judicial, encontrándose prohibida la determinación de responsabilidades civiles o criminales. La Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores (DNISAU) asume la responsabilidad de esta tarea para el caso del transporte automotor de pasajeros y de cargas de Jurisdicción Nacional e Internacional que al momento del accidente o incidente estuviesen en ocasión de servicio y que como resultado presentaran daños severos a las personas y/o a la infraestructura y/o el ambiente.

Los hallazgos realizados por la JST y, la DNISAU en particular, constituyen insumos para producir Recomendaciones de Seguridad Operacional (RSO), dirigidas a fortalecer el sistema para evitar la ocurrencia de sucesos en el transporte o mitigar sus potenciales consecuencias.

1.2. Premisas del modelo sistémico

La investigación desarrollada por la JST se enmarca en el modelo de análisis sistémico que delimita los métodos y técnicas utilizadas para abordar sucesos ocurridos en sistemas sociotécnicos complejos como lo es el transporte automotor (JIAAC, 2020; Reason, 2008; Salmon y Lene, 2015).

Desde esta perspectiva se asume que un accidente o incidente es el resultado de la combinación de factores desencadenantes, condiciones latentes y debilidades en las defensas del sistema. Cada uno de estos es necesario para su ocurrencia, pero ninguno por sí solo es suficiente para que se produzcan (Rasmussen, 1997).

Los factores desencadenantes aluden a la presencia de fallos mecánicos, ambientales y humanos que tienen una contribución inmediata en la generación de un accidente o incidente y están espacialmente ubicados en la escena del hecho (Covello, 2021). Las condiciones

latentes refieren a un conjunto de Factores Humanos (FFHH) y Factores Organizacionales (FFOO) que están temporalmente alejados del suceso, pero inciden sobre los niveles de seguridad del sistema y coadyuvan a la producción de fallas inmediatas (Turjanski & Covello, 2014). Las defensas son las herramientas elaboradas dentro del sistema para impedir o mitigar la influencia de las fallas inmediatas y garantizar la seguridad de las personas y los bienes (por ejemplo, tecnologías, entrenamiento, y procedimientos) (Reason, 2008).

La contribución del enfoque sistémico en la investigación de sucesos automotores es tanto teórica como metodológica y práctica. Este promueve el desarrollo de recomendaciones de amplio alcance, las cuales no se restringen a condiciones inmediatas, individuales o específicas de un suceso (el comportamiento de los conductores), sino que contribuyen a una mejora del sistema y, en este sentido, se orientan a prevenir futuros accidentes o atemperar sus resultados.

Uno de los productos de las investigaciones que realiza la JST es el Informe Provisional de Seguridad Operacional. Este se publica al año de iniciada la investigación cuando por las características del suceso (cumplido este plazo) se requiera continuar profundizando en los emergentes más relevantes que puedan servir de insumo para realizar una o más RSO a ser plasmadas en el Informe Final de Seguridad Operacional.

El contenido de este documento incluye una descripción y análisis de la información recolectada hasta el momento de su publicación por los investigadores del organismo. Complementariamente, se incorporan datos que provienen de otras fuentes y resultan pertinentes para organizar los resultados (por ejemplo, normativas nacionales, reportes de organismos gubernamentales, medios de prensa). Sobre esta base, el informe también establece líneas de investigación asociadas al rumbo y profundidad de la investigación en curso.

1.3. Características particulares del suceso

El suceso ocurrió el 23 de abril del año 2021, aproximadamente a las 21:30, en la Ruta Nacional 7, en el kilómetro 112,200 —ubicado entre las localidades de San Andrés de Giles y Carmen de Areco— y presenta características particulares que lo convierten en un caso de investigación inusual para la Junta de Seguridad en el Transporte. Se trata de un accidente que tiene como único involucrado a un automóvil particular. La JST esta facultada a intervenir en aquellos sucesos relevantes en términos de su gravedad institucional (art 6, ley 27.514). La intervención en este caso fue motivada teniendo en cuenta que el involucrado principal es el ministro de transporte de la nación y dada la evidente repercusión social del suceso.

El motivo de la intervención de la Junta en este caso radica en que el protagonista del suceso fue un funcionario de alto rango de la Administración Pública Nacional vinculado a la cartera de transporte. El accidente tuvo consecuencias fatales para dicha persona y, a su vez, por la envergadura de sus resultados concitó amplia repercusión social que ameritó la intervención del organismo.

El equipo de trabajo de la Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores a cargo de la investigación de este accidente decidió continuar este estudio con la metodología sistémica que utiliza para investigar los casos que son de su competencia. Se consideró que esta forma de abordar un accidente privado individual mantiene potencialidad para identificar condiciones del sistema de transporte cuya atención puede contribuir a incrementar los márgenes de seguridad de las operaciones (Salmon y Lene, 2015).

Es por esta razón que el presente informe Provisional de Seguridad Operacional tendrá como núcleo central las condiciones latentes y fallas en las defensas del sistema que quedaron evidenciadas a partir del caso. En el análisis serán priorizadas estas dos dimensiones por sobre los factores desencadenantes del suceso puesto que, por las características del hecho, son las que brindan insumos relevantes para generar futuras Recomendaciones de Seguridad Operacional al nivel del sistema que colaboren prospectivamente tanto a evitar la producción de accidentes e incidentes como a mitigarlos en sus resultantes.

2. Descripción de los datos obtenidos

2.1. Reseña del suceso

El viernes 23 de abril de 2021, alrededor de las 21:30, el automóvil Ford Mondeo Vignale, dominio AE759AO, transitaba en sentido este-oeste por la Ruta Nacional 7 con destino a la ciudad de Junín. Entre las localidades de San Andrés de Giles y Carmen de Areco, el conductor perdió el control del vehículo, despistó, ingresó al cantero central de la vía y chocó con su sector lateral izquierdo contra el extremo de la barrera ubicado en el cardinal este de una barrera de contención lateral metálica semirrígida con terminal tipo “cola de pez” en la progresiva 112,200. A raíz del choque, se produjo una desaceleración repentina del rodado que provocó un vuelco sobre su eje longitudinal (vuelco tonel) y culminó su trayectoria posimpacto con el techo en contacto con el cantero central y con su frente de avance orientado hacia el cardinal noroeste.

En el esquema de la Figura 1 se visualiza la trayectoria final del vehículo previa al impacto.

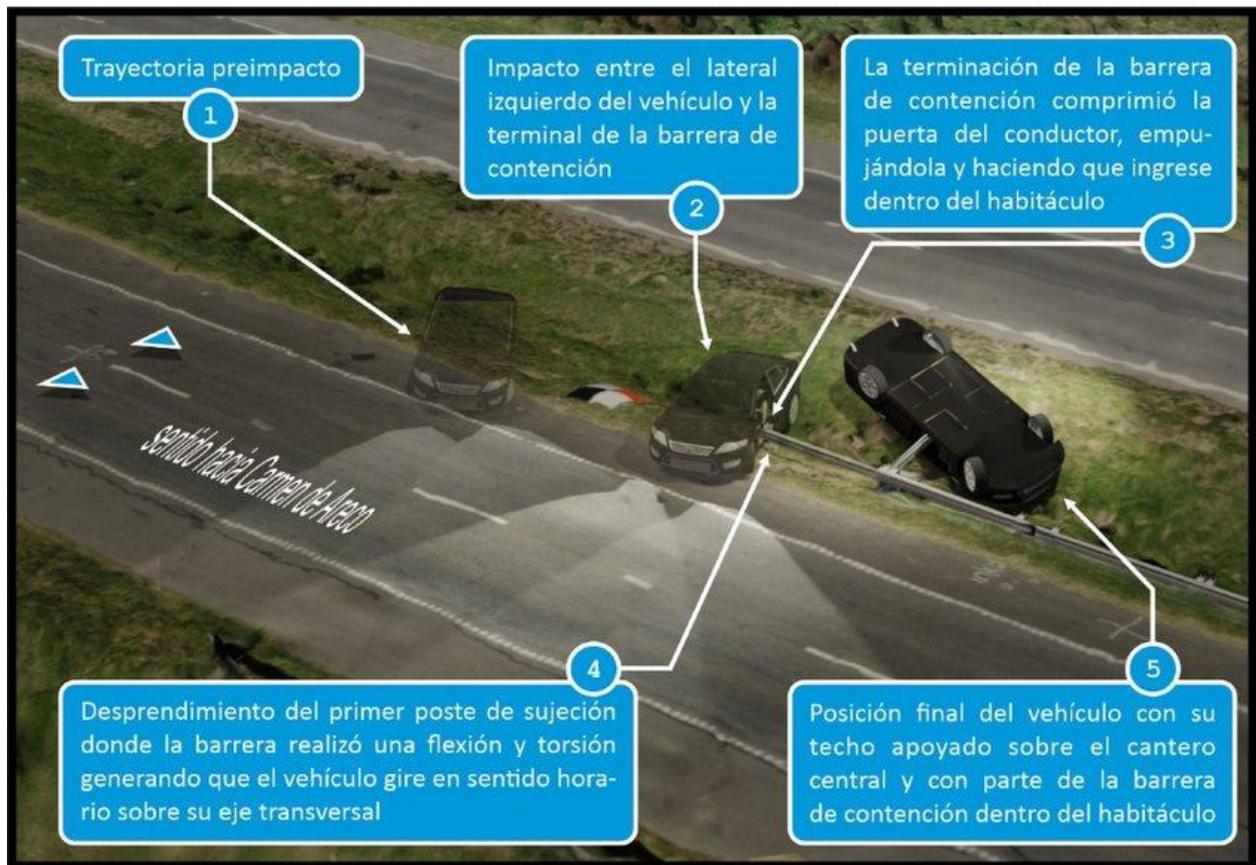


Figura 1. Representación gráfica de la secuencia del suceso. Fuente: JST, 2021.

2.2. Resultados del accidente

2.2.1. Consecuencias sobre las personas

En términos de consecuencias humanas, este suceso presenta como afectado al conductor, único ocupante del vehículo, quien sufrió lesiones mortales producto del accidente, identificado como de sexo masculino, de 56 años y de nacionalidad argentina.

2.2.2. Daños en el vehículo

Las imágenes que se presentan en esta sección muestran detalladamente los daños producidos en el vehículo. Esta información se presenta en extenso en el Anexo 3.

Como se observa en la Figura 2, sobre el lateral izquierdo pueden identificarse las afectaciones en este sector generadas por el impacto de la unidad contra el extremo de la barrera de contención lateral.



Figura 2. Fotografía del lateral izquierdo del vehículo. Fuente: JST, 2021.

Con mayor detalle, la Figura 3 permite observar que el sector de la puerta delantera izquierda presentaba daños significativos producto del choque y la penetración de la viga del sistema de contención dentro del habitáculo del vehículo. En el área mencionada, el zócalo de la puerta del automóvil muestra deformaciones que evidencian el contacto con el poste correspondiente al extremo de la barrera de contención y el desplazamiento de la puerta delantera izquierda hacia el interior de la unidad.



Figura 3. Fotografía de vista parcial del lateral izquierdo del vehículo, detalle sobre el área de impacto. Fuente: JST, 2021.

Como se muestra en las imágenes siguientes, en el interior del habitáculo pudo registrarse la deformación de las butacas del conductor y del acompañante, la deformación y rotura del volante, la rotura del sector izquierdo de la plancha de abordaje y abrasiones en el techo del vehículo. Las Figuras 4 y 5 permiten aproximarse a los daños registrados.



Figura 4 y 5. Daños al interior del vehículo. Fuente: JST, 2021.

Como muestran los fotogramas que componen la Figura 6, los sectores frontales, lateral derecho y techo presentaban daños y rastros generados tanto por el desplazamiento posimpacto con vuelco en tonel del vehículo, como también producto de las posteriores tareas de remoción del automóvil para su traslado. En el sector posterior de la unidad no se relevaron daños ni otros indicios de interés para la investigación.

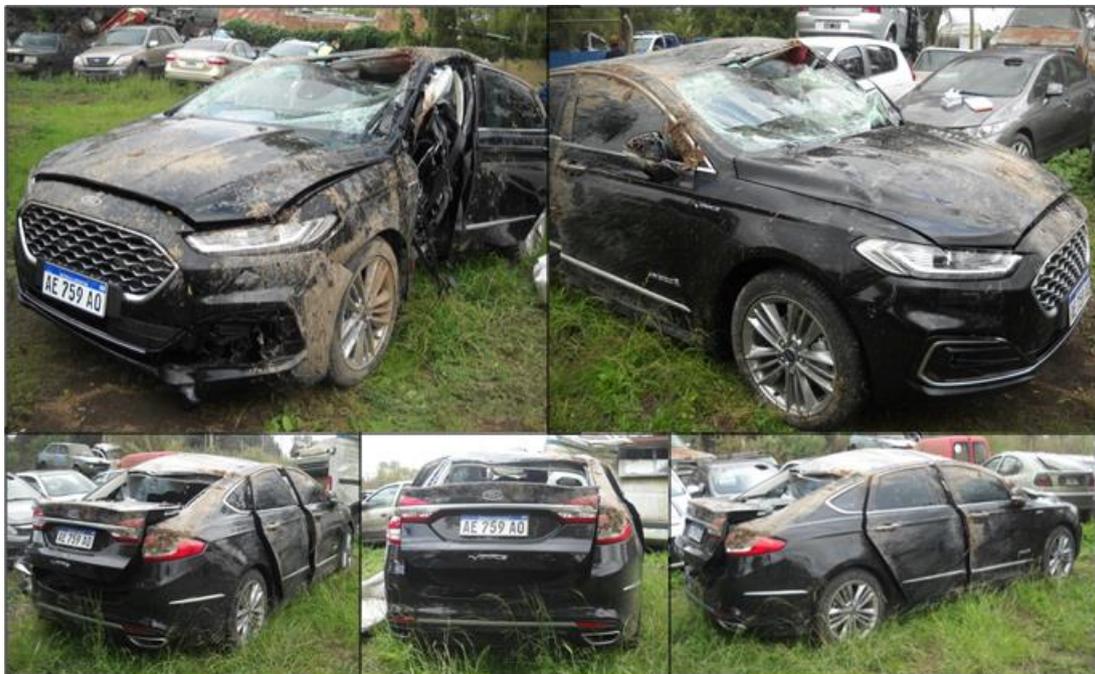


Figura 6. Conjunto de fotografías de diferentes vistas del vehículo (frontal, lateral derecho y posterior). Fuente: JST, 2021.

Al momento de la inspección vehicular realizada por la JST, el cinturón de seguridad correspondiente a la posición del conductor presentaba la hebilla colocada en el anclaje y el

cinto cortado por los sistemas de emergencias para la extracción del cuerpo. Los sistemas de iluminación del vehículo se hallaban funcionando, según se observa en imágenes tomadas momentos posteriores al accidente. Se constató en el interior y en la parte delantera del rodado la presencia de dos luces led intermitentes “tipo chupetes” de color azul que giraban sobre sus ejes.

Los neumáticos (llantas y cubiertas) no exhibieron daños o signos relacionables al suceso¹. Las cuatro cubiertas exponían fecha de fabricación del año 2019, las bandas de rodadura se hallaban en buen estado y la profundidad de surcos promedio relevada fue de 7 milímetros en cada neumático. Este valor supera 4 veces el requisito legal por desgaste de la banda de rodamiento indicado para los automóviles particulares que se ubica en los 1,6 milímetros (art. 29, Anexo 1, Decreto 779/95, reglamentario de la Ley 24449 con base en la norma IRAM 113.337/93).

2.2.3. Daños a la infraestructura

Como consecuencia del accidente se produjeron daños en la defensa lateral. Se trataba de una barrera contención lateral semirrígida, conformada por vigas metálicas de doble onda, postes metálicos empotrados en el terreno y con terminales del tipo “cola de pez” sin abocinamiento, situada sobre el cantero central, a la izquierda del carril rápido de la mano de circulación hacia Junín, instalada en la zona donde se encontraba un sumidero de rejas. Además de recibir el impacto, un tramo de la barrera fue cortado por los bomberos para realizar los trabajos de remoción.

En el lugar del suceso se observó que dicha barrera se encontraba dañada e incompleta en su extremo cardinal este al momento del relevamiento, con desprendimiento de una viga y un poste y desplazamiento de dos postes empotrados a terreno. Su estado de conservación aparente no mostraba signos de fisuras, oxidación ni otros indicadores de deterioro previos al accidente.

Se inspeccionó la viga correspondiente al extremo de la barrera de contención impactado por el Ford Mondeo (resguardada en el depósito judicial en el que se alojó la unidad) y se observaron deformaciones directas en el terminal de la barrera por el contacto con el vehículo y a lo largo de la viga, producto de las fuerzas actuantes durante el impacto y el vuelco del automóvil (Figura 7).

¹ Los neumáticos pertenecen a la marca Continental, modelo Conti SPORT Contact 5 235/45 R18 98Y Extra load. ContiSportContact 5 es la cuarta generación de la familia de neumáticos UUHP (rendimiento ultra-ultra alto).



Figura 7. Fotografía de viga deformada, correspondiente al extremo terminal de la barrera de contención impactada. Fuente: JST, 2021.

2.2.4. Estrategias para mitigar los resultados del accidente

2.2.4.1 Atención post accidente

Los organismos registrados como responsivos a la emergencia fueron:

- Central de Atención Telefónica de Emergencias 911.
- Comisaría San Andrés de Giles.
- Destacamento Vial San Andrés de Giles.
- Bomberos Voluntarios de San Andrés de Giles.
- Corredores Viales, estación Villa Espil.
- Delegación Departamental de Policía Científica de Mercedes.
- Sistema de Atención Médica de Emergencias (SAME), San Andrés de Giles.
- Morgue Moreno-General Rodríguez.
- Junta de Seguridad en el Transporte.

En el lugar del hecho se encontraban rodados pertenecientes a personas externas a los organismos e instituciones con potestad para intervenir en el suceso que se desplazaban por las inmediaciones del lugar. En el expediente de la investigación judicial se indica que esas personas se encontraban caminando en estado exaltado, de manera esparcida, próximas al vehículo, tomando fotografías del interior del habitáculo y del exterior de este, y que su presencia obstaculizaba el proceder de los profesionales destinados a atender la emergencia. En consecuencia, la escena del suceso podría encontrarse contaminada producto de la situación.

También a través de material gráfico y audiovisual de prensa, y de registros fotográficos propios, pudo observarse la presencia de vehículos y una gran concurrencia de personas

pertenecientes a distintos organismos responsivos (policía, salud, bomberos, concesionario, etc.) que en sus acciones no evidenciaban pautas protocolares de actuación que contribuyan a la preservación de la escena.

Como muestra la Figura 8, las maniobras posteriores para la extracción del cuerpo del conductor y de remoción del vehículo ubicado en el cantero central contribuyeron a la generación de huellas y marcas que alteraron las características del lugar del suceso. Esto pudo haber ocurrido por haber ejecutado dichas maniobras en contexto de condiciones climáticas adversas, ya que las precipitaciones previas al accidente alteraron el estado del terreno de pasto, el cual se hallaba mojado. Este estado de situación dificultó el relevamiento de indicios que potencialmente permitieran establecer los factores desencadenantes del accidente con mayor precisión.



Figura 8. Marcas posteriores de remoción vista desde planta. Fuente: JST, 2021.

2.2.4.2 Elementos de seguridad pasiva

El relevamiento de parámetros vinculados al vehículo permitió a la JST comprobar el funcionamiento de los mecanismos de seguridad pasiva.

Al momento del accidente, el conductor tenía colocado el cinturón de seguridad inercial de anclaje de tres puntos con pretensores. El indicador observable de esta condición fue que las hebillas de enganche estaban activas y que el cinturón se encontraba cortado con motivo de las maniobras posteriores realizadas para extraer el cuerpo del habitáculo.

Adicionalmente, se observó que los textiles de las correas del dispositivo estaban estirados por el tipo de fuerza que la dinámica del choque generó en el movimiento del cuerpo. Con posterioridad, la autopsia médico-legal también indicó que el conductor presentaba lesiones compatibles con la impronta del cinturón de seguridad. Esta información también fue validada por la asesoría médica interna de la JST brindada a la DNISAU.

La inspección también permitió constatar la activación de los *airbags* laterales y cortina del conductor, no así del *airbags* disponible en el volante (ver Figura 4).

2. 5. Eventos, procesos, condiciones de la vía y del entorno y del conductor

2.5.1. Características de la vía y del entorno

El suceso ocurrió en una zona rural de la localidad de San Andrés de Giles, Provincia de Buenos Aires, progresiva kilométrica 112,220 de la autovía Ruta Nacional 7 (RN 7), en las coordenadas geográficas -34.4622498, -59.5477378.



Figura 9. Poste kilométrico 112, Ruta Nacional 7. Fuente: JST, 2021.

La autovía RN 7, concesionada actualmente a Corredores Viales SA, es una de las arterias principales a nivel nacional, ya que une las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, San Luis y Mendoza, conformando un corredor que atraviesa el ancho del país. Las características de esta ruta varían dependiendo del tramo, ya que atraviesa zonas urbanas durante parte de su trayecto.

El relevamiento corresponde al tramo comprendido entre la progresiva 112 y 112,200. A continuación (ver Tabla 1), se describen las condiciones de la infraestructura vial en sus principales atributos:

Datos de la Ruta en tramo relevado	
Nombre de la Ruta	Ruta Nacional 7
Kilometro	112,200
Provincia	Buenos Aires
Localidad	San Andrés de Giles
Tipo de Ruta	Autovía
Categoría de la ruta	Nacional

Características de la Autovía en tramo relevado	
Geometría del tramo	Tramo recto
Tipo de pavimento	Asfáltico
Cantidad de calzadas	2 calzadas, una por sentido de circulación
Cantidad de carriles	4 carriles, 2 por sentido de circulación
Tipo de mediana	Cantero central con cuneta
Ancho de la zona de camino	110 m*
TMDA	5665 (año 2020) *
Velocidad señalizada en el tramo	110 km/h vehículos livianos (km 109,05)
Velocidad media del tramo	100,1 km/h vehículos livianos (km 109)*
Percentil 85 de la velocidad	122,4 km/h vehículos livianos (km 109)*
Características de la calzada ascendente hacia Carmen de Areco	
Ancho de calzada	6,90 m
Cantidad de carriles	2 carriles
Ancho de carriles	3,45 m
Configuración de la pendiente transversal	A dos aguas
Pendiente transversal de calzada	2 %
Longitud y pendiente de banquetas pavimentadas	
• Interna	2,40 m, 4 %
• Externa	2,70 m, 4 %
Longitud y pendiente de banquetas sin pavimentar	
• Interna	1,20 m, 4 %
• Externa	1,20 m, 4 %
Características de la calzada descendente hacia San Andrés de Giles	
Ancho de calzada	7,30 m
Cantidad de carriles	2 carriles
Ancho de carriles	3,65 m
Configuración de la pendiente transversal	Un solo sentido (drena a cuneta externa)
Pendiente transversal de calzada	2 %
Longitud y pendiente de banquetas pavimentadas	
• Interna	0,50 m, 4 %
• Externa	2,50 m, 4 %
Longitud y pendiente de banquetas sin pavimentar	
• Interna	2,50 m, 4 %
• Externa	0,50 m, 4 %
Características de mediana	
Longitud de mediana	11 m
Material de mediana	Pasto
Pendientes de los taludes del cantero	10 %
Otros	Barrera de contención lateral por sumidero de reja en cantero central

Tabla 1. Descripción de la infraestructura vial en el tramo relevado km 112 Ruta Nacional 7. Fuente: JST, 2021. Nota: (*) Información proporcionada por vialidad nacional.

El suceso ocurrió sobre la calzada con dirección a Junín que, hasta septiembre de 2019, presentaba un tramo de dos carriles indivisos que conducían el tránsito en ambos sentidos de circulación. Luego de esta fecha, cuando se inauguró la duplicación de la calzada en el tramo San Andrés de Giles —Acceso a Carmen de Areco— como parte del proyecto Autopista Ruta Nacional 7, los dos carriles existentes pasaron a ser la vía ascendente, con dirección hacia Junín, y la recién inaugurada conformó la vía descendente hacia Capital Federal.

La duplicación de calzada implicó cambios en las señalizaciones verticales y horizontales para colocar las correspondientes al nuevo ordenamiento vehicular. Asimismo, se realizaron obras de drenaje para cumplir con los nuevos requerimientos de la recolección de las áreas que tributan a la infraestructura vial y a la zona de camino. Si bien no hubo renovación de la estructura del pavimento, la superficie de rodamiento no presentaba baches o fisuras. Sin embargo, se observaron deformaciones transversales, ahuellamiento, en ambos carriles.

El ahuellamiento es una depresión continua que se manifiesta paralela al eje de la vía a lo largo del rodamiento de los vehículos y es causado por las repeticiones de las cargas del tránsito (FHA, 2003). Esta situación conlleva que se produzcan deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o de la subrasante que conforman una depresión que permite la acumulación de agua en la calzada, lo que puede producir spray e hidroplaneo.

Según la Dirección Nacional de Vialidad, la severidad del ahuellamiento se determina en función de la profundidad de la huella. Los parámetros establecidos indican que una severidad baja corresponde a profundidades promedio menores a 10 mm, una severidad media, a profundidades promedio entre 10 mm y 25 mm, mientras que una severidad alta corresponde a profundidades promedio mayores a 25 mm.

Adicionalmente, el Pliego de Especificaciones Técnicas General para Concesiones Viales expresa lo siguiente con respecto a las profundidades admisibles de huella en las calzadas existentes antes de su repavimentación o donde no estén previstas obras:

Para un tramo continuo de longitud igual o inferior a DIEZ (10) kilómetros, el NOVENTA (90%) por ciento de los valores medidos en la trocha analizada, deberán ser iguales o menores que DOCE (12) milímetros (art. 18.1.2.2).

Debido a esta condición identificada, se solicitó a Vialidad Nacional el relevamiento de la profundidad de las huellas de ambos carriles en el sector donde ocurrió el accidente y 5 kilómetros previos al kilómetro 112. Del relevamiento realizado posaccidente (mayo 2021), se obtuvo la siguiente información correspondiente al tramo ubicado entre los kilómetros 107 y 113:

- la calzada donde ocurrió el suceso presenta mayor profundidad de huellas en el carril derecho, con un promedio de 10 mm. Previo al punto de colisión en el kilómetro 112 se encontró el punto máximo de depresión, donde el valor de la huella es de 18 mm y 15 mm para huella externa y huella interna, respectivamente.
- otro valor significativo del carril derecho es en el km 112,800, posterior al punto de colisión, donde el valor de las huellas es 18 mm, tanto para la huella externa como para la interna.
- el carril izquierdo presenta valores de ahuellamiento leves en un promedio de 5 mm de profundidad, exceptuando los kilómetros 112,200 y 112,400 donde la huella externa tiene valores de 14 mm y de 12 mm, respectivamente.

También se recibió información de ahuellamiento del año 2018, cuando el tramo de la ruta era de calzada única entre los kilómetros 107 y 113, a partir de los cuales se realizaron las siguientes observaciones:

- ambos carriles, tanto ascendente como descendente, presentaban profundidades de ahuellamiento leve que en promedio eran de 3 mm.
- solo en la huella externa del carril derecho (ascendente) en los kilómetros 109,600, 109,800 y 110,000 se observaron profundidades moderadas que corresponden a los valores 13 mm, 10 mm y 12 mm, respectivamente.

A partir de esta información adicional referente al 2018, se observa que este tramo presentaba una deformación transversal en ambos carriles de severidad leve. Luego, en el 2021 y posterior al suceso, las medidas de las huellas arrojan que dicha patología presentó una severidad moderada en su carril derecho (lento) y leve en su carril izquierdo (rápido), pero con una profundidad promedio mayor que en el año 2018. Es común que los carriles lentos en general presenten mayores deformaciones transversales debido a la circulación de vehículos de carga pesada.

La geometría del tramo donde ocurrió el suceso es recta, sin curvas verticales u horizontales significativas que puedan llegar a desmejorar la visibilidad. Otro aspecto relevante son las características observadas de los costados del camino de dicho tramo:

- el acceso a los propietarios frentistas se realiza directamente desde la calzada principal sin colectoras y distribuidores, sino con accesos directos definidos geoméricamente;
- las alcantarillas y sumideros de reja en el cantero central colocados debido a susceptibilidad hídrica y a la frecuencia de anegamientos en los costados del camino.

La presencia de ambas estructuras hídricas para tratar el trasvaso de agua y evitar la inundación en calzada y costados de camino da lugar a la colocación de barreras de contención lateral por la naturaleza rígida de ambos elementos de drenaje, por ejemplo, cuando el sumidero no sea transitable o en las cabeceras de alcantarillas.

El lugar de impacto del vehículo se halló contra el extremo de la barrera longitudinal, la cual estaba dispuesta a 3,60 metros del borde de calzada como sistema de contención ante el sumidero de reja no transitable ubicado en el cantero central en la progresiva 112,200. Dicha barrera era semirrígida, con 11 postes y viga doble onda, ambos componentes de metal y extremo del tipo “cola de pez”.

2.5.2. Aspectos del vehículo involucrado

2.5.2.1 Aspectos relativos a la fabricación del vehículo (chasis- carrocería).

El vehículo involucrado en el suceso es un automóvil carrocería Sedán, con cuatro puertas, correspondiente al rediseño de la cuarta generación del modelo Mondeo de la marca Ford, el cual comenzó a producirse en Valencia, España, a partir del año 2019. La siguiente tabla muestra los principales atributos de este tipo de vehículo.

Tipo	Automóvil sedán 4 puertas
Marca	Ford
Modelo	Mondeo híbrido
Color	Negro
Dominio	AE759AO
Año de fabricación	2019
Año de patentamiento	2021
Oblea RTO	12074356
Estado	Vigente

Tabla 2. Datos de identificación del vehículo involucrado. Fuente: DNRPA, 2021.

La Tabla 3 presenta las características técnicas del vehículo involucrado en el suceso, expresadas en sus unidades de medida según corresponde al atributo observado.

Dimensiones	
Altura (mm)	1501
Ancho total con espejos (mm)	2121
Capacidad del baúl (l)	388
Distancia entre ejes (mm)	2850
Largo (mm)	4871

Peso en orden de marcha (kg)	1579
-------------------------------------	------

Tabla 3. Resumen de características técnicas. Fuente: Manual de usuario Ford Mondeo, 2018.

El automóvil cuenta con dos motores, uno eléctrico (120 CV) y uno de combustión interna de 2 litros y ciclo Atkinson (140 CV), brindando 187 CV totales de potencia combinada. El motor eléctrico es alimentado con una batería de ión-litio de alto voltaje (1,4 kWh de capacidad), contando con transmisión automática eCVT y tracción delantera.

A continuación, en la Tabla 4 se identifican los sistemas de seguridad activa y pasiva con los que está equipada la unidad.

Seguridad activa	Seguridad pasiva
Asistente de precolisión con detección de peatones	Airbags de rodilla para conductor
Control de Torque en Curvas	Airbags delanteros para conductor y acompañante
Control de Tracción (TCS)	Airbags laterales de tórax en asientos delanteros
Control de velocidad crucero adaptativo	Airbags laterales tipo cortina
Control Electrónico de Estabilidad (ESC)	Cinturones de seguridad delanteros inerciales de 3 puntos con pretensores
Alerta al conductor	Cinturones de seguridad traseros (3) inerciales de 3 puntos
Dirección Asistida Electrónica (EPAS)	Sistema de anclaje ISOFIX en asientos traseros
Encendido automático de luces altas	Sistema Poscolisión de activación automática de balizas, bocina y desbloqueo de puertas
Frenos a disco en las 4 ruedas, delanteros ventilados	Estructura de carrocería ultra rígida con zonas de deformación programada
Sistema de Asistencia al Arranque en Pendientes (HLA)	-
Sistema de Estacionamiento Asistido paralelo y perpendicular	-
Sistema de frenos antibloqueo (ABS), con sistema electrónico de reparto de frenada (EBD) y asistencia a la frenada de emergencia (EBA)	-
Sistema de información de punto ciego y alerta de tráfico cruzado	-
Sistema de mantenimiento de carril (<i>Lane keeping aid</i>)	-

Sistema de monitoreo de presión en Neumáticos (TPMS)	-
Sistema de reconocimiento de señales de velocidad	-

Tabla 4. Sistemas de seguridad activa y pasiva del modelo Ford Mondeo Vignale híbrido. Fuente: Manual de usuario Ford Mondeo, 2018.

Según se observó en la inspección ocular, el vehículo no presentaba elementos asociables a un trabajo de blindaje ni en la puerta del conductor ni en los cristales.

De acuerdo con su fecha de fabricación, y tal como consta en el Título de Propiedad del Automotor, el vehículo contaba con número de Revisión Técnica Obligatoria vigente hasta el 31/03/2024.

2.5.3 Condiciones y acciones del conductor

2.5.3.1 Licencia de Conducir

Según datos oficiales aportados por la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), el conductor poseía una licencia de conducir habilitante para la clase B, subclase B1 (conforme Decreto 26/19), emitida el 9 de diciembre de 2019, con vigencia hasta el 9 de diciembre de 2024.

2.5.3.2 Información toxicológica del conductor

Los datos provenientes de la causa judicial relativos al estado toxicológico del conductor al momento del suceso indican la ausencia de alcohol y drogas² en sangre.

2.5.3.3 Condiciones de salud preexistentes del conductor

Se identificó en la autopsia la preexistencia de una obstrucción del 70 % de la luz en la carótida principal, Si bien no puede establecerse una relación directa con el accidente, se analizará en el informe final las posibles consecuencias de esta condición clínica sobre la conducción.

2.5.3.4 Características del viaje

Para el conductor involucrado en el suceso, la RN 7 con destino a la ciudad de Junín se trataba de un recorrido realizado con cierta regularidad. El accidente ocurrió un viernes, en horario nocturno (21:30), mientras el conductor retornaba a su ciudad de origen, en condiciones de manejo en soledad (único ocupante del automóvil) y en una zona de escasa iluminación. No se pudo acceder a la información sobre el tiempo de vigilia hasta el momento

² anoréxicos, anfetaminas, antidepresivos, antihistaminicos, anestésicos locales, analgésicos narcóticos, fenotiazinas, benzodiazepinas, analgésicos no esteroideos, antiinflamatorios, anticolvulsivantes, barbitúricos, diuréticos y otros.

del accidente y tampoco sobre los patrones de sueño habituales ni a información sobre las 72 horas previas al suceso.

2.5.3.5 Velocidad

Para determinar la velocidad de circulación del vehículo momentos previos al accidente, se utilizó la estrategia de estimación mediante modelos fisicomatemáticos aplicables a cada fase de la dinámica del suceso³. Se concluyó que, de acuerdo con las carencias de los rastros de la trayectoria, la singularidad del tipo de impacto y sus características particulares, junto con la falta de datos técnicos y ensayos análogos que resulten válidos para las estimaciones necesarias, no es posible determinar de manera fiable la velocidad de impacto y de circulación del vehículo a través de la modelización fisicomatemática (ver Anexo 3).

Por otro lado, la estimación de la velocidad media del tramo comprendido entre los puntos de referencia *Peaje Villa Espil* y *posición final del vehículo* arrojó dos valores según los parámetros utilizados. Uno de ellos es 116 km/h y el otro, 164 km/h. El resultado obtenido a partir de los datos mencionados debe tomarse con cautela y comprendiendo que no guarda relación con la velocidad que tenía el vehículo al momento del suceso. Su única utilidad es meramente orientativa respecto de una posible conducta de manejo (ver Anexo 3).

2.5.3.6 Aspectos relativos a la concesión y al mantenimiento de las vías

El 23 de diciembre de 2020 se celebró el Contrato de Concesión entre el Estado Nacional y la empresa Corredores Viales SA, a través del cual el tramo de la Ruta Nacional 7 donde ocurrió el accidente desde entonces está concesionado por dicha empresa. La realización de las obras y todas las tareas de mantenimiento, reparación y conservación corresponden a Corredores Viales SA durante el plazo de la concesión (10 años), de acuerdo con lo previsto en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales, siendo la autoridad de aplicación la Dirección Nacional de Vialidad (DNV). Los controles y seguimientos del contrato de concesión serán efectuados por la Gerencia Ejecutiva de Planeamiento y Concesiones de la DNV y la supervisión será realizada por la oficina técnica de la DNV destacada en cercanía a la ruta, autovía o autopista.

3. Acciones desarrolladas

Desde que fuera publicado el Informe Preliminar relativo a este suceso, se continuaron desarrollando distintas acciones para avanzar en la investigación. Al momento de publicación de este documento, fueron contactadas distintas instituciones de carácter público y privado

³ No se tuvo acceso al registrador de datos del vehículo EDR (*event data recorder*).

con el propósito de obtener información sustantiva para continuar con las líneas de trabajo. Entre estas pueden referenciarse:

- Solicitud de registro de llamadas al Sistema de emergencias 911
- Solicitud de datos a ANSV
- Entrevista a bomberos voluntarios
- Solicitud de documentación de cubiertas de Continental
- Solicitud de documentación a Corredores Viales SA
- Solicitud de documentación a Ford
- Solicitud de documentación a L´Alliance
- Solicitud de datos del dominio del vehículo a DNRPA
- Solicitud de datos al Servicio Meteorológico Nacional
- Solicitud de datos a Vialidad Nacional
- Acceso al expediente judicial
- Solicitud de datos a Información de Telepase
- Solicitud de entrevistas al entorno laboral

4. Líneas de investigación

Los datos obtenidos hasta el momento de la publicación de este Informe Provisional de Seguridad Operacional permitieron plantear distintas líneas de investigación emergentes durante esta etapa de trabajo. Su desarrollo y resultados se reflejarán en el Informe Final de Seguridad Operacional.

Como se mencionó en el apartado 1.3, las líneas de investigación están orientadas a profundizar en aquellos aspectos del sistema que este suceso de carácter privado individual puso de manifiesto. En este marco, se está profundizando en los siguientes emergentes:

- El diseño de la barrera de contención lateral identificado (terminal “cola de pez”) y las condiciones de la calzada (ahuellamiento) instalaron como línea de investigación indagar tanto la proyección de los componentes de la vía como su mantenimiento preventivo y correctivo, para lo cual se considerarán a todos los actores competentes.
- Las condiciones climáticas adversas identificadas con anterioridad al suceso concomitantemente con la velocidad promedio estimada en el Anexo 3 instala como eje de trabajo tanto la señalización y la fiscalización de las velocidades de conducción en el tramo como las advertencias al usuario de la vía sobre las velocidades precautorias en condiciones de precipitación u otros factores de riesgo.

- Las características del viaje referidas (nocturnidad, conducción en solitario y familiaridad con el recorrido), articuladas con la carga laboral correspondiente al rango jerárquico en la Administración Pública Nacional del conductor del vehículo, instalan como eje de investigación la presencia de fatiga en la conducción y sus efectos nocivos —aumento del riesgo—.

Cada una de las líneas de trabajo identificadas durante el proceso de investigación desplegado en este informe serán profundizadas con el objetivo de dar continuidad a esta investigación hasta consolidar la información relevada y producida para que la JST cumpla con su misión de emitir Recomendaciones de Seguridad Operacional.

5. Referencias bibliográficas

- Covello, A. (2021). *Investigación sistémica de accidentes: Modelo para el transporte y la gestión de riesgos en sistemas complejos*. CICCUS.
- Federal Highway Administration (FHA) (2003). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*. US. Federal Highway Administration, Department Administration.
- Junta de Investigación de Accidentes de Aviación Civil (2020). *Manual de Procedimientos para la investigación de accidentes e incidentes de aviación civil (MAPRIACC)*. Junta de Investigación de Accidentes de Aviación Civil.
- Rasmussen, J. (1997). Risk management in a dynamic society: a modelling problem. *Safety Science*, 27(2), 183-213.
- Reason, J. (2008). *The human contribution: Unsafe acts. Accidents and Heroic Recoveries*. Routledge.
- Salmon, P. M., y Lenné, M. G. (2015). Miles away or just around the corner? Systems thinking in road safety research and practice. *Accident analysis and prevention*, 74, 243-249.
- Turjanski, D y Covello, A. (2014). Modelo de análisis de accidentes e incidentes y redacción de informes finales. Junta de Investigación de Accidentes de Aviación Civil.

Fuentes

- Dirección Nacional de Vialidad (s/f). Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos. Dirección General de Conservación. Dirección Nacional de Vialidad.
- Pliego de Especificaciones Técnicas General para Concesiones Viales (s/f). Dirección Nacional de Vialidad.
- Ford Motor Company (2018). Manual del propietario Ford Mondeo Vignale. Recuperado de: https://www.ford.com.ar/content/dam/Ford/websiteassets/latam/ar/nameplate/mondeo_vignale_hibrido/pdf/far-mondeo-vignale-hibrido-manual-propietario.pdf

Anexo 1. Relevamiento del lugar del accidente

Se realizaron cuatro relevamientos en la Ruta Nacional 7 en el kilómetro 112,200, ubicado entre las localidades de San Andrés de Giles y Carmen de Areco, el día 24/04/2021, en diferentes horarios y, posteriormente, se continuó con el relevamiento de información los días 27/4/2021 y 6/5/2021.

Primer relevamiento, 24/04/2021

Hora de inicio: 2:00

Hora de finalización: 4:00

Se realizaron las siguientes acciones: (a) entrevista a los miembros de la Delegación Departamental de la Policía Científica de Mercedes, dependiente de la Superintendencia de Policía Científica de La Plata, para conocer las tareas realizadas hasta el momento en el lugar del suceso; (b) se realizó una primera inspección del lugar del accidente, con relevamiento fotográfico del medio (vía y entorno) y del vehículo accidentado; (c) registro de los actores que estaban asistiendo posterior al suceso y se solicitó toda la documentación relacionada con el accidente a las distintas autoridades. Finalizadas las acciones iniciales de investigación en el lugar del suceso, el vehículo fue trasladado por la Delegación Departamental y puesto a resguardo en el depósito judicial, a las 04:00.

Segundo relevamiento 24/04/2021

Hora de inicio: 6:00

Hora de finalización: 18:00

Se continuó con las tareas de relevamiento accidentológico diurno. Se realizó el registro de las condiciones de la vía, fotográfico y filmográfico, evaluaciones del terreno, relevamiento de huellas, planimetría, relevamiento de rastros e indicios y análisis de la señalética. Seguidamente, en el Depósito Judicial de San Andrés de Giles se realizó la primera inspección del vehículo, con relevamiento fotográfico en detalle de daños. Luego, se realizó el traslado hacia la estación de peaje de Villa Espil, para entrevistar al supervisor de la estación y realizar el relevamiento fotográfico de actas de los primeros interventores en el sitio del choque (Dirección Nacional de Vialidad y Corredores Viales).

Tercer relevamiento: 27/04/2021

Hora de inicio: 7:00

Hora de finalización: 18:00

Se realizaron mediciones adicionales, registros fotográficos y filmográficos sobre el entorno y la señalética. Por último, se registró el comportamiento de los usuarios del tramo que contiene en lugar del accidente.

Cuarto relevamiento: 6/05/2021

Hora de inicio: 8:00

Hora de finalización: 18:00

Se realizó un relevamiento aéreo del tramo que incluyó el lugar del accidente con un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) para la creación de una nube de puntos densa y una malla de superficie con las cuales realizar un análisis de las irregularidades del terreno y el estado de la vía.

Se presenta en la siguiente página el croquis resultante de los relevamientos.



Figura 10. Croquis del lugar del accidente: (1) Área del cantero central donde se ubican marcas (acorde el expediente judicial), que podrían ser de preimpacto, como así también marcas de remoción y de asistencia posaccidente; (2) Bandera a cuadros utilizada como referencia para el relevamiento de drones; (3) Marcas de remoción y de asistencia posaccidente sobre el terreno; (4) Posición del primer poste de la barrera de contención antes del impacto; (5) Barrera de contención flexionada; (6) Posición final del vehículo. Fuente: JST, 2021.

Anexo 2. Dinámica del suceso

1. Identificación de los rastros y daños

1.1 Barrera de contención lateral

Los daños principales de la barrera se enumeran a continuación en el sentido de avance de la vía:

- a) Deformación de la terminación metálica denominada “cola de pez”.
- b) Desprendimiento del primer poste vertical, encargado de sostener la barrera metálica.
- c) Rastros hemáticos en la viga de la barrera.
- d) Pliegue de la barrera en la mitad de la distancia que existe entre el primer y segundo poste vertical.
- e) Torsión de la viga, en la zona próxima al segundo poste.
- f) Deformación por flexión del segundo poste vertical, con sentido hacia el cantero central y hacia el mismo sentido de avance de la vía.
- g) Flexión de postes sucesivos en el sentido de avance.



Figura 11. Rastros de la barrera en el lugar del hecho. Fuente: JST, 2021.



Figura 12. Tramo de la barrera desprendido. Fuente: JST, 2021.



Figura 13. Deformación en el agujero de fijación de la viga con el primer poste. Fuente: JST, 2021.



Figura 14. Zona del pliegue de la barrera. Fuente: JST, 2021.



Figura 15. Deformación del tercer poste. Fuente: JST, 2021.



Figura 16. Daño en el tercer poste. Fuente: JST, 2021.

1.2 Vehículo

Los rastros y daños hallados en el vehículo son los siguientes:

- a) Deformación lateral izquierda en la zona de la puerta del conductor, la cual incluye una deformación pronunciada por pliegue del zócalo hacia el interior y un curvado leve del vehículo en el mismo sentido.
- b) Desprendimiento de la puerta del conductor por rotura de las bisagras y deformación generalizada por desplazamiento de una zona cercana al centro de la puerta hacia el interior (dicha zona tiene marcas de roce).
- c) Deformación generalizada de la parte superior del vehículo, la cual incluye la rotura del parabrisas delantero y la luneta.
- d) Rotura del volante y parte del tablero.
- e) Daños en el asiento del conductor.
- f) Marcas de roce en el techo del vehículo (observado desde el interior) en la zona cercana al espacio entre los respaldos de los asientos delanteros.



Figura 17. Deformaciones en el lateral izquierdo. Fuente: JST, 2021.



Figura 18. Deformación en el techo y rotura de la luneta. Fuente: JST, 2021.



Figura 19. Deformaciones en la puerta del conductor: desprendimiento de las bisagras. Fuente: JST, 2021.



Figura 20. Roturas en el panel del tablero y el volante. Fuente: JST, 2021.

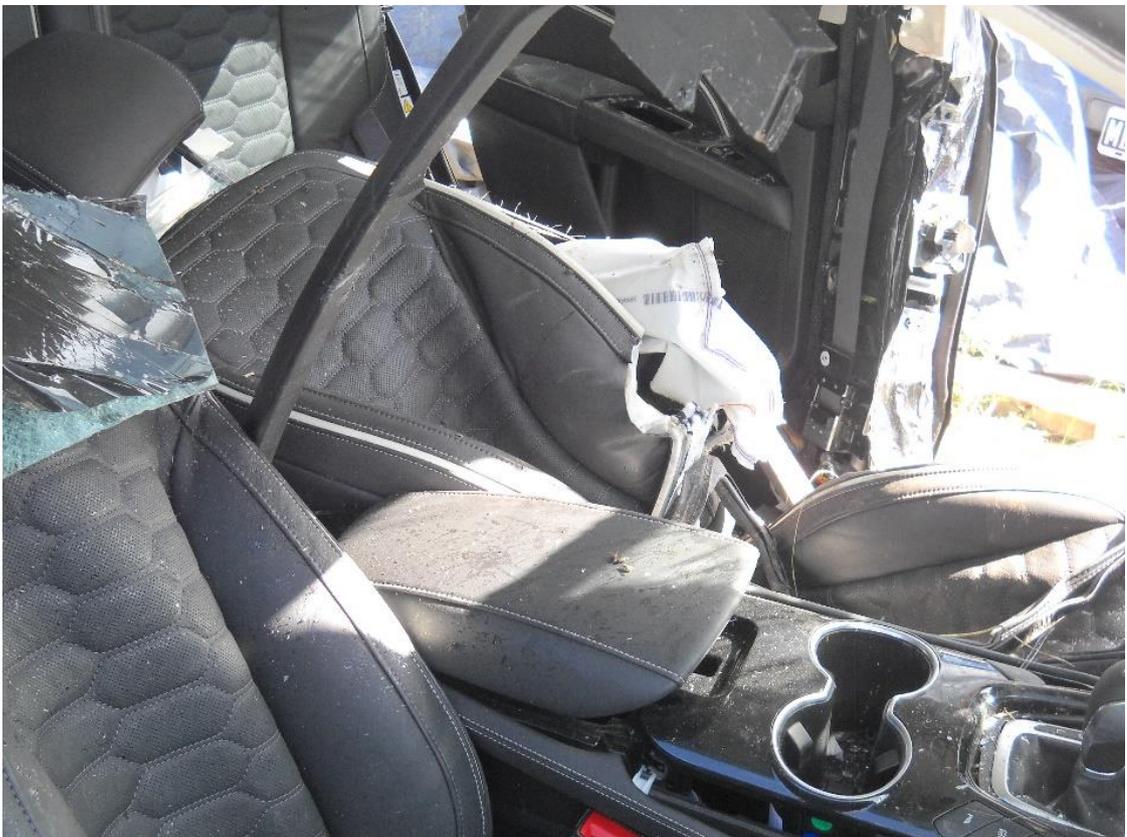


Figura 1. Daños en el asiento del conductor. Fuente: JST, 2021.



Figura 22. Marcas de roce en el techo interior del vehículo. Fuente: JST, 2021.

2. Dinámica resultante

2.1 General

A continuación, se describe la trayectoria realizada por el vehículo momentos previos y posteriores a la colisión contra la barrera de contención.

Previo al impacto se observa que el vehículo ingresó con una pérdida de control al cantero central o mediana. Durante el relevamiento de campo, no se encontraron indicios sobre la calzada que puedan determinar dónde comenzó la pérdida de control.

La trayectoria sobre el cantero central presenta cinco fases:

- a) Pérdida de control del vehículo
- b) Egreso de la calzada hacia la banquina asfaltada y el cantero central
- c) Giro hacia la derecha del vehículo.
- d) Impacto contra la terminal de la barrera de contención
- e) Traslación y vuelco del vehículo posterior al impacto

Las fases 1 y 2 quedan evidenciadas por la forma de producción del impacto del vehículo involucrado contra la terminal de la barrera de contención.

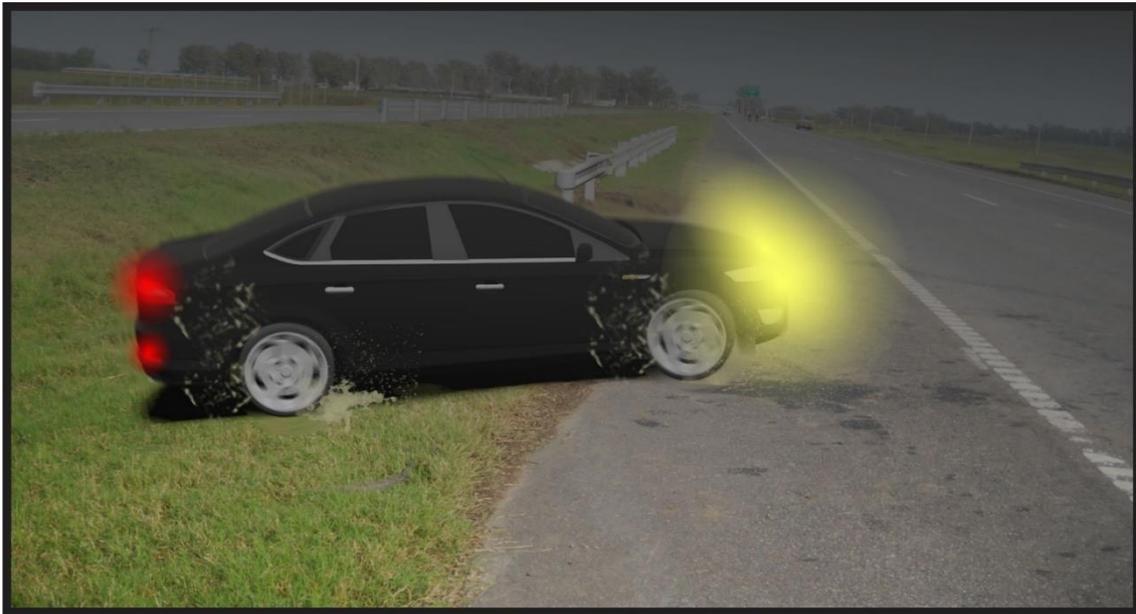


Figura 23. Posición del vehículo previa al impacto. Fuente: JST, 2022.

La fase 3 queda determinada por el espacio transitado desde la finalización de la fase 2 y el ángulo de impacto con la barrera de contención. El primer contacto del vehículo se dio entre la terminación del extremo libre de la barrera de contención y el lateral izquierdo del rodado, más precisamente del sector inferior trasero del panel de puerta izquierda delantera, próximo al parante central, y el zócalo del sector izquierdo medio. El choque angular forma un ángulo menor a 45° , tomando como referencia el eje longitudinal de la barrera y el eje longitudinal del rodado.



Figura 24. Choque lateral con terminal de barrera de contención. Fuente: JST, 2022.

En la fase 4, la energía cinética del automóvil se transformó en roturas y deformaciones de las partes intervinientes.



Figura 25. Deformación de la barrera de contención. Fuente: JST, 2022.

Como último movimiento, en la fase 5 el vehículo experimentó un giro en sentido antihorario sobre su eje longitudinal y se produjo un vuelco de tipo tonel e impactó con su techo sobre la superficie del cantero central, quedando de esta forma en su punto de inmovilidad final.

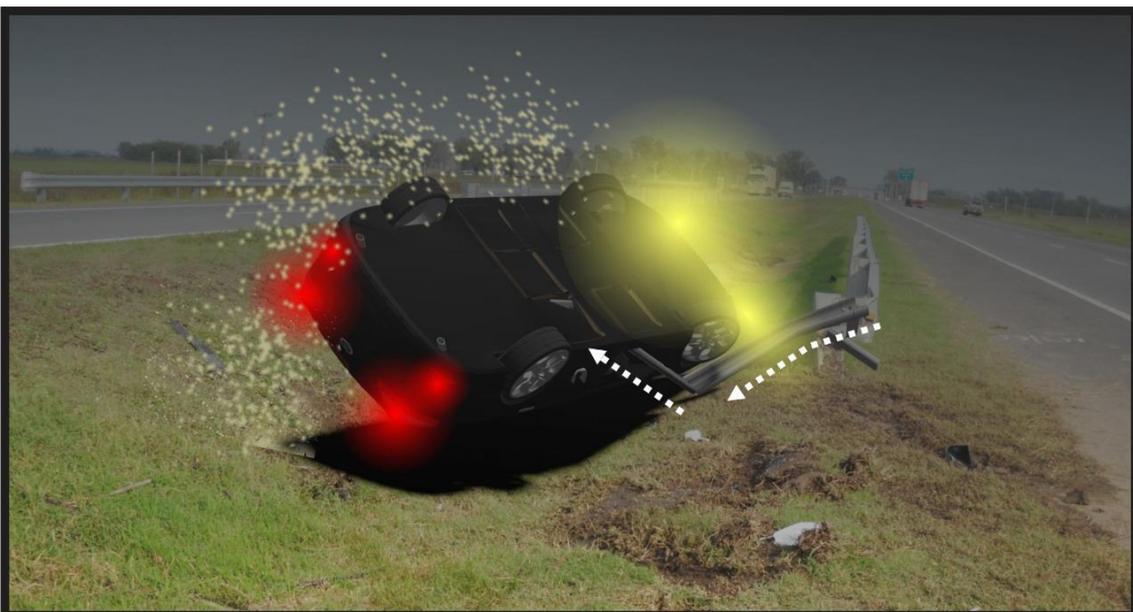


Figura 26. Vuelco tipo tonel. Fuente: JST, 2022.



Figura 27. Posición final del vehículo. Fuente: JST, 2022.

2.1 Específica del impacto

Al momento previo del impacto, el vehículo se dirigía hacia adelante (en el mismo sentido de la vía) y hacia el cantero central en menor medida, es decir, la velocidad de traslación del centro de masa del vehículo tenía un componente como el que se representa en la Figura 28. Además, se representa una probable baja velocidad de rotación en sentido horario.

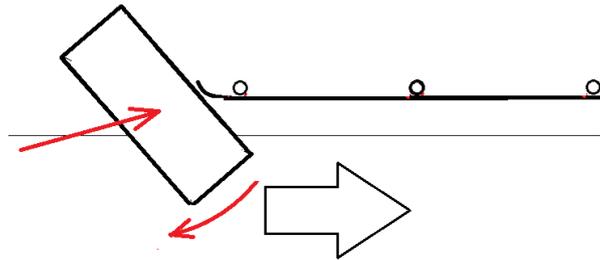


Figura 28. Vista plano de esquema del momento previo al impacto. Fuente: JST, 2022.

El primer efecto del impacto sucede entre la terminación metálica tipo “cola de pez” con el lateral izquierdo del vehículo, el cual se ancla en la zona baja y posterior de la puerta del conductor (izquierda). En el mismo sentido, la terminación de la barrera se deforma haciendo que la solapa en voladizo se doble hacia el lado de la barrera dejando un extremo de barrera con una característica más puntiaguda (ver Figura 15). Este extremo mantuvo contacto con la puerta empujando hacia el habitáculo. La resistencia de la puerta en el marco de su contorno hizo que comience a deformarse hacia adentro.

Durante el período en que el vehículo continuaba su avance sobre el espacio que ocupaba la barrera, golpeó el primer poste de sujeción de la viga y causó la rotura del bulón que los unía. La misma acción del impacto comprometió la estructura metálica de la carrocería y el chasis en la zona del zócalo de la misma puerta, generando una flexión local hacia el interior del vehículo. En ese momento, la viga estuvo solicitada principalmente a un esfuerzo de compresión, producto de las fuerzas del avance del vehículo y la resistencia de los postes sucesivos que la sujetaban, los cuales fueron desplazados por flexión en su base en el sentido de avance de la vía (segundo y tercer poste).

Respecto de la barrera, los esfuerzos de compresión se incrementaron hasta que la viga colapsó por pandeo, causando una flexión a la mitad de la distancia entre el primer y segundo poste (Figura 29).

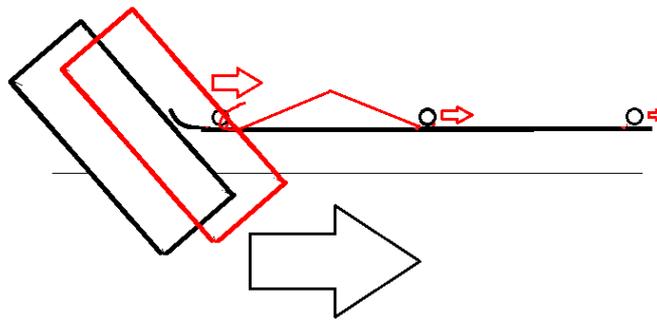


Figura 29. Vista plano de esquema del comienzo de las deformaciones. Fuente: JST, 2022.

En este mismo período, la viga deformó la puerta, empujándola hacia adentro, como en una sollicitación con características de embutido. Por su lado, las bisagras de la puerta se deformaron hasta que se produjo su rotura, lo que liberó la puerta permitiendo que entre en su totalidad y su paso por el espacio donde se encontraba el conductor.

La puerta desprendida avanzó hasta el asiento del acompañante (delantero derecho), mientras que la flexión de la viga se incrementaba. En el mismo movimiento, la parte inferior del pliegue de la viga hizo contacto con el suelo, lo que generó un punto de anclaje y dejó como rastro las manchas de barro. En consecuencia, se produjo una nueva resistencia al avance del vehículo, lo que derivó en una torsión de la viga (en la zona del segundo poste) y haciendo que el extremo de la barrera levante al auto desde el interior. Esto dejó como rastros los daños en el techo del interior del vehículo.

Finalmente, el vehículo terminó su traslación cuando realizó el vuelco tipo tonel del otro lado de la barrera, generando una torsión en la viga de 180°, aproximadamente, y flexionando el segundo poste de fijación hacia el cantero central.

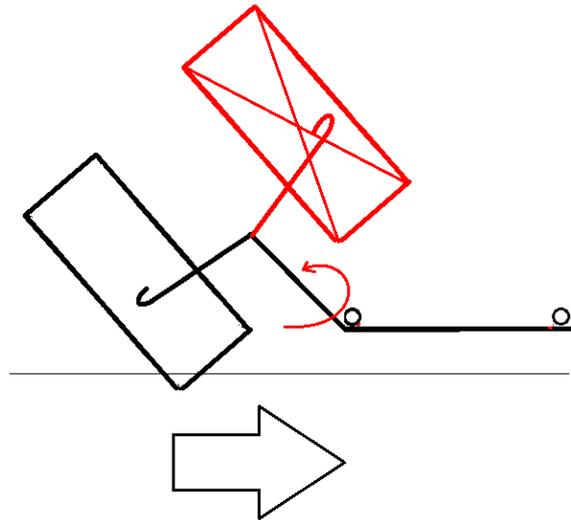


Figura 30. Vuelco del vehículo y posición final. Fuente: JST, 2022.

En conclusión, de acuerdo con los rastros relevados, se halló evidencia suficiente para determinar que el vehículo se trasladaba en el sentido de avance de la vía y con una componente de su velocidad hacia el cantero central. Esta es la razón por la cual, luego del impacto, su posición final es sobre el mismo cantero central.

Durante el impacto y posterior a este, el vehículo no sufrió giros significativos sobre el eje vertical. Esto indica que probablemente previo al impacto el vehículo no se encontraba girando o lo hacía en muy baja magnitud y que el impacto tampoco produjo este efecto. Esto último se explica por el impacto principal, el cual se produjo sobre la puerta del conductor, con un ángulo aproximado de 40°. Esto implicó que los principales componentes de las fuerzas pasaron muy cerca y por detrás del centro de gravedad del vehículo y, en consecuencia, no generaron momentos de fuerza que hayan llevado al vehículo a realizar movimientos rotatorios en este sentido. También, induce la posibilidad de que el vehículo se encontraba girando en sentido opuesto a este efecto, es decir, en sentido horario.

Anexo 3. Estimación de velocidad de circulación del vehículo previo al suceso

Se abordaron diferentes estrategias para determinar la velocidad de circulación del vehículo momentos previos al accidente. A continuación, se presentan las principales observaciones.

1. Registradores de información del vehículo

Los EDR (*Event Data Recorder*) son dispositivos instalados en un vehículo motorizado para registrar información técnica de la unidad y del ocupante durante un breve período de tiempo (segundos) antes, durante y después de un choque (NHTSA, 2022).

A través del acceso a los registradores de información del vehículo podrían obtenerse datos muy precisos y detallados de la velocidad. Sin embargo, en esta investigación, hasta el momento, no se ha podido obtener acceso al registrador principal de la unidad.

2. Reconstrucción por modelado fisicomatemático con base en rastros relevados en el lugar del hecho y deformaciones en el vehículo y en la barrera de contención

La estimación de la velocidad de circulación a través de modelos fisicomatemáticos implica utilizar métodos específicos aplicables a cada una de las etapas donde la energía cinética inicial del vehículo fue transformada en roturas y deformaciones. En el suceso bajo estudio se identifican dos etapas: la primera representa las pérdidas de energías por medio del rozamiento en la trayectoria previa al impacto contra la barrera de contención y la segunda, las energías consumidas a partir del choque con la barrera, hasta que el vehículo alcanzó su estado de reposo.

Para calcular las energías involucradas en la primera etapa, resulta necesario basarse en indicios que demuestren categóricamente cuáles y cómo fueron los fenómenos asociados a esta etapa (tales como derrapes y maniobras, asociadas a la posición, sentido y dirección en cada momento de la trayectoria preimpacto) o que al menos permitan la aproximación a un rango de resultados aceptable para su aplicación en la investigación. La calidad y características de las huellas que fueron relevadas en el lugar de los hechos resultaron insuficientes para establecer modelos fisicomatemáticos. Es por ello por lo que las energías involucradas en esta etapa resultan subrepresentadas con base en huellas y vestigios. Finalmente, el cálculo de velocidad asociado a dichas energías arrojaría una magnitud de velocidad mínima calculable con un error significativo, desestimando el método.

Para ejemplificar lo expresado en el párrafo previo, cabe considerar para esta primera etapa la posibilidad de distintas fases con cambios de dirección, cambios del ángulo de avance respecto del eje longitudinal del vehículo, cambios en estados de aceleración, frenado,

derrape, rodamiento y coeficientes de rozamiento variables, influencias de maniobras del conductor, influencias de los sistemas de seguridad del vehículo, etc. De esta manera, durante los fenómenos asociados a la trayectoria de la primera etapa se consumieron energías y el vehículo llegó al impacto contra la barrera —inicio de la segunda etapa— con una velocidad inferior a la de su circulación original.

A partir de allí, se podría modelizar que esta cantidad de energía remanente fue transformada a través de diferentes fenómenos hasta que el sistema alcanzó un estado final y el vehículo llegó a su punto de reposo. A través del cálculo de dichas energías, podría llegarse a estimar la velocidad a la que el vehículo impactó contra la barrera. Las fases asociadas podrían simplificarse progresivamente en:

- a) Inicio de choque oblicuo entre el lateral izquierdo del vehículo y el extremo de la barrera de contención. Abarca el primer contacto de la puerta con el extremo de la barrera. Se flexiona la “cola de pez” y comienza la deformación de la puerta.
- b) Contacto del zócalo de la puerta contra el poste de la barrera. Se deforma y desprende el poste del suelo, se deforma el zócalo del vehículo y se intensifica el daño de la puerta en un efecto tipo embutido con el extremo de la barrera. Comienza el efecto de pandeo por compresión de la barrera de contención.
- c) Flexión de la barrera entre el primer y segundo poste.
- d) Colapso de la puerta. Rotura de las bisagras e intrusión del habitáculo de puerta y barrera.
- e) Torsión de la barrera. Giro, traslación y vuelco del vehículo.
- f) Impacto final del techo contra el suelo.

En cada una de estas etapas, la energía se transformó principalmente en deformación plástica y fracturas. Sin embargo, son una simplificación de la interacción compleja entre las distintas partes.

De manera general, las deformaciones principales en el vehículo fueron sobre la puerta y su marco y en la barrera por compresión, pandeo y flexión de la viga, torsión y desprendimiento del primer poste. Para ambos elementos no existen estudios de deformación comparables.

Las barreras de contención son diseñadas y ensayadas para que cumplan su función ante impactos de ciertas características sobre su sector lateral. Ante un impacto sobre su extremo y colineal a la barrera, esta se comporta como una estructura semirrígida, la cual presenta una gran resistencia en un primer momento hasta que colapsan sus sujeciones (poste) y la viga, por pandeo. A partir de ese momento, la flexión y torsión presentaron menos resistencia que la etapa anterior. No se hallaron estudios para estos tipos de impacto que sirvan de referencia para modelizar la energía absorbida.

En los vehículos, la forma de impacto más estudiada es la frontal, por medio de ensayos y modelos físicos simplificados, pero también existen ensayos de impactos laterales que simulan impactos vehiculares o columnas rígidas. En un ensayo de impacto lateral —ensayo de poste— el auto probado es impulsado lateralmente a 32 km/h contra un poste rígido sobre la unión de las puertas delantera y trasera izquierdas (Euro-NCAP, 2019). En este ensayo se observan deformaciones que alcanzan a la estructura del techo. En el ensayo, este tipo de impacto permite establecer la referencia de que la columna es prácticamente rígida y por lo tanto se puede considerar que la absorción de energía de esta es despreciable. Esto es muy importante ya que, al no absorber energía, se deduce que la deformación del vehículo corresponde a la energía cinética inicial del vehículo.

La notable diferencia entre el suceso investigado y el ensayo radica en que, en el caso estudiado, la barrera se deformó absorbiendo energía considerable y además impactó en una zona específica (la zona baja de la puerta), la cual tiene un comportamiento resistivo diferente. Estas diferencias alejan las posibilidades para tomarlo como referencia. En esta investigación tampoco se pudo determinar el grado de similitud de la estructura del vehículo ensayado con el del suceso en cuanto a las características resistivas (estructura, materiales, refuerzos, etc.).

En conclusión, acorde con las carencias de los rastros de la trayectoria, la singularidad del tipo de impacto y sus características particulares, junto con la falta de datos técnicos y ensayos análogos que resulten válidos para las estimaciones necesarias, no es posible determinar de manera fiable la velocidad de impacto y de circulación del vehículo a través de la modelización fisicomatemática.

3. Estimación de velocidad promedio según 2 puntos de referencia

La velocidad promedio se obtuvo relacionando los registros horarios del paso del vehículo por el peaje Villa Espil (RN 7 progresiva 87,50) y de la primera llamada de notificación al 911. Como parámetro para la estimación se consideró la distancia entre estos lugares.

Hora de paso por peaje Villa Espil	21:00:47*	20:56:54**
Primera llamada al 911	21:10:06	
Distancia entre peaje Villa Espil y lugar del accidente	24,7 km	
Velocidad promedio	164 km/h	116 km/h

Tabla 5. Parámetros para el cálculo de la velocidad promedio. (*) Según cámara. (**) Según lectura de antena de telepeaje. Fuente: JST, 2021.

Al estimarse esta velocidad, deben tenerse en cuenta las limitaciones en la verificación de calibración entre los registros horarios, el tiempo indeterminado entre la ocurrencia del suceso y la realización de la llamada, así como las variaciones de velocidad del vehículo durante el trayecto, también indeterminadas. Por lo tanto, el resultado obtenido a partir de los datos

mencionados debe tomarse con cautela y comprendiendo que no guarda relación con la velocidad que tenía el vehículo al momento del suceso. Su única utilidad es meramente orientativa respecto de una posible conducta de manejo.

Referencias bibliográficas

National Highway Traffic Safety Administration, Event Data Recorder. Recuperado el 13/04/2022 de: <https://www.nhtsa.gov/research-data/event-data-recorder#overview-10516>

Euro-NCAP (2019) Ford Mondeo, Pole crash test 2019. Recuperado el 13/04/2022 de <https://euroncap.newsmarket.com/multimedia/find-a-car/all/ford-mondeo---pole-crash-test-2019/a/cdc42c0b-67a4-4628-9ec4-35268d10b876>