

# JST | SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE



## INFORME DE SEGURIDAD OPERACIONAL DE SUCESO AUTOMOTOR

Expediente: EX-2021-36141147-APN-JST#MTR

Suceso: accidente

Título: 21. ISO. Particular. Despiste y choque. San Andrés de Giles. Buenos Aires

Lugar: Ruta Nacional 7, kilómetro 112,2

Fecha y hora: 23/04/2021 21:30 aproximadamente (UTC-3)

Resultados: una persona fallecida

Vehículos: un automóvil particular

Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores

*primero  
la gente*



Ministerio de Transporte  
Argentina



Junta de Seguridad en el Transporte

Florida 361, piso 8

Argentina, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1005AAG

(54+11) 4382-8890/91

[www.argentina.gob.ar/jst](http://www.argentina.gob.ar/jst)

[info@jst.gob.ar](mailto:info@jst.gob.ar)

Publicado por la JST. En caso de utilizar este material de forma total o parcial se sugiere citar según el siguiente formato: 21. ISO. Particular. Despiste y choque. San Andrés de Giles. Buenos Aires. Fuente: Junta de Seguridad en el Transporte, 2023.

El presente informe se encuentra disponible en [www.argentina.gob.ar/jst](http://www.argentina.gob.ar/jst)



# CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. NOTA INTRODUCTORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. PRESENTACIÓN DE LA JST.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. PREMISAS DEL MODELO SISTÉMICO.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3. CARACTERÍSTICAS PARTICULARES DEL SUCESO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1. RESEÑA DEL SUCESO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. RESULTADOS DEL ACCIDENTE.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1. LESIONES A LAS PERSONAS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2. DAÑOS EN EL VEHÍCULO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.3. DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA Y AL AMBIENTE .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. ASPECTOS RELATIVOS A LA ASISTENCIA POSACCIDENTE .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1. ELEMENTOS DE SEGURIDAD PASIVA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4. ASPECTOS DE LA INFRAESTRUCTURA Y DEL ENTORNO, EL VEHÍCULO Y EL CONDUCTOR .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.2. ASPECTOS DEL VEHÍCULO INVOLUCRADO .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.3. CONDICIONES Y ACCIONES DEL CONDUCTOR .....</b>	<b>25</b>
<b>2.5. FACTORES GUBERNAMENTALES Y REGULATORIOS .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.1. ASPECTOS RELATIVOS A LA CONCESIÓN DE LA VÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.2. DISEÑO DE LAS BARRERAS DE CONTENCIÓN LATERAL .....</b>	<b>27</b>



2.5.3. MANTENIMIENTO DE LAS BARRERAS DE CONTENCIÓN LATERAL .....	32
<b>3. ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>33</b>
3.1. FACTORES DESENCADENANTES .....	33
3.2. CONDICIONES LATENTES .....	35
3.2.1. BARRERAS DE CONTENCIÓN LATERAL.....	35
<b>4. HALLAZGOS .....</b>	<b>37</b>
<b>5. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL.....</b>	<b>38</b>
5.1. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL SURGIDAS DEL INFORME DE SEGURIDAD OPERACIONAL .....	38
<b>6. PROBLEMAS DE SEGURIDAD RELEVANTES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES... 39</b>	
6.1. AHUELLAMIENTO .....	39
6.2. PRESERVACIÓN DEL LUGAR DEL SUCESO .....	40
<b>7. FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>41</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>44</b>
9.1. RELEVAMIENTO EN EL LUGAR DEL ACCIDENTE .....	44
9.2. DINÁMICA DEL SUCESO.....	47
9.3. ESTIMACIÓN DE VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN DEL VEHÍCULO PREVIO AL SUCESO .....	61
9.4. FACTIBILIDAD DE DESARROLLO DE HIDROPLANEIO .....	66

## RESUMEN

En este informe se detallan las características del accidente automotor que involucró un automóvil particular Ford Mondeo Vignale (dominio AE759AO). El 23 de abril de 2021, el vehículo perdió el control en la progresiva kilométrica 112,2 de la Ruta Nacional 7, e impactó contra la barrera de contención lateral metálica. Como resultado, el conductor del vehículo, único ocupante de la unidad, falleció.

El informe identifica factores de riesgo de seguridad operacional relacionados con la infraestructura vial. Específicamente, se emiten Recomendaciones de Seguridad Operacional a la Dirección Nacional de Vialidad respecto de la terminal de la barrera de contención lateral.

## 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, a la infraestructura o al ambiente.

Los hallazgos realizados por la JST 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 y 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 individual 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.

El contenido que aquí se presenta incluye una descripción y análisis de la información recolectada por los/as investigadores/as 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 los factores desencadenantes plausibles y las condiciones latentes identificadas para profundizar su análisis a nivel del sistema transporte automotor. Este Informe Final de Seguridad Operacional culmina con la presentación de los hallazgos y las recomendaciones emitidas por la JST.

### 1.3. Características particulares del suceso

La JST está facultada para actuar en aquellos sucesos relevantes en términos de su gravedad institucional (art 6, Ley 27514). 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 participación del organismo.

En distintas etapas de la investigación de este suceso, incluida la revisión del presente Informe Final, la JST solicitó y recibió el asesoramiento de investigadores de la National Transportation Safety Board (NTSB) de Estados Unidos.

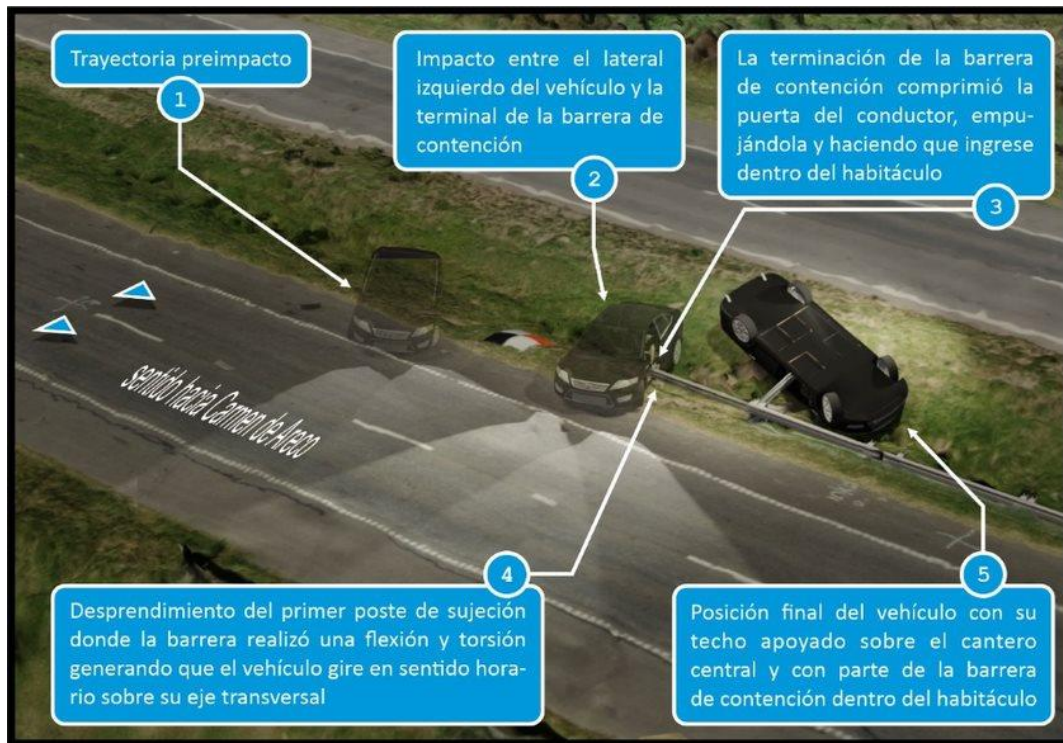
## 2. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

### 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 ubicado en el cardinal este de una barrera de contención lateral metálica semirrígida con terminal tipo “cola de pez” en la progresiva kilométrica 112,2. A raíz del choque, se produjo una desaceleración repentina del rodado que provocó un vuelco sobre su eje longitudinal (vuelco en tonel). El vehículo culminó su trayectoria posimpacto con el techo en contacto con el cantero central y su frente de avance orientado hacia el cardinal noroeste.



Figura 1. Representación gráfica de la secuencia del suceso



Nota: la infografía representa la trayectoria final del vehículo al momento del impacto. Fuente: JST, 2021

## 2.2. Resultados del accidente

A continuación, se exponen los resultados relacionados con las personas, los vehículos y la asistencia posaccidente.

### 2.2.1. Lesiones a las personas

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

### 2.2.2. Daños en el vehículo

Las imágenes incluidas 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



Nota: daños de mayor incidencia en el sector medio, más precisamente en la puerta del conductor.

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. 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 la puerta delantera izquierda desplazada hacia el interior por el contacto directo con la terminal de la barrera cola de pez.

Figura 3. Fotografía de vista parcial del lateral izquierdo del vehículo



Nota: se detallan los daños de las bisagras, el zócalo de la puerta, el asiento y el tablero. Fuente: JST, 2021

Como se muestra en las imágenes de la Figura 4 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.

Figura 4. Daños al interior del vehículo



Nota: Desplazamientos del asiento, el tablero y marcas de rozamiento en el techo. Fuente: JST, 2021

Como muestran las fotografías que componen la Figura 5, 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 5. Conjunto de fotografías de diferentes vistas del vehículo



Nota: fotografías de vehículo con vistas frontal, lateral izquierdo, 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 emergencia para la extracción del cuerpo. Según se observa en imágenes tomadas momentos posteriores al suceso, los sistemas de iluminación del vehículo se encontraban funcionando. Los neumáticos

(llantas y cubiertas) no exhibieron daños o signos relacionables al suceso<sup>1</sup>. 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 y al ambiente

Como consecuencia del suceso, se produjeron daños en la defensa lateral, una barrera de contención semirrígida, conformada por vigas metálicas de doble onda, postes metálicos empotrados en el terreno y con terminales del tipo “cola de pez” sin abocinamiento. La barrera estaba 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 rejillas. 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 suceso.

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 6).

---

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

Figura 6. Extremo terminal de la barrera de contención impactada



Nota: viga deformada por el impacto. Fuente: JST, 2021

### 2.3. Aspectos relativos a la asistencia posaccidente

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

Conforme la documentación que integra la investigación, en el lugar del hecho se encontraban rodados pertenecientes a personas externas a los organismos e instituciones con potestad para intervenir en el suceso. Muchas de ellas se encontraban caminando, de manera esparcida, próximas al vehículo, tomando fotografías del interior y del exterior del habitáculo, y su presencia obstaculizó el proceder de los profesionales destinados a atender la emergencia.

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 responsables (policía, salud, bomberos, concesionario, etc.) que en sus acciones no evidenciaban pautas protocolares de actuación que contribuyan a la preservación de la escena, como por ejemplo, la delimitación de la zona del accidente y el acceso coordinado del personal de los organismos de respuesta

Como muestra la Figura 7, el lugar del suceso se vio alterado por dos aspectos: 1) las maniobras de extracción del cuerpo y remoción del vehículo, y 2) las condiciones climáticas adversas que dejaron un terreno mojado. En conjunto, ambos aspectos limitaron la posibilidad de relevar datos capaces de arrojar luz sobre la participación de factores desencadenantes vinculados con el ambiente.

Figura 7. Marcas posteriores de remoción vista desde planta



Nota: vista superior tomada por drones en el lugar del suceso luego de la remoción del vehículo.

Fuente: JST, 2021

### 2.3.1. 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 Informe de Asesoría Médica y Desempeño Humano de la JST (2022) indica que las hebillas de enganche estaban activas y que el cinturón se

encontraba cortado con motivo de las maniobras 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. Conforme el informe médico mencionado (JST 2022), el conductor presentaba lesiones compatibles con la impronta del cinturón de seguridad. La inspección también permitió constatar la activación de los *airbags* laterales y cortina del conductor, no así del *airbag* disponible en el volante (ver Figura 4).

#### 2.4. Aspectos de la infraestructura y del entorno, el vehículo y el conductor

El suceso ocurrió en una zona rural de la localidad de San Andrés de Giles, Provincia de Buenos Aires, progresiva kilométrica 112,2 de la autovía Ruta Nacional 7 (RN 7), en las coordenadas geográficas -34.4622498, -59.5477378. Esta constituye una de las arterias principales a nivel nacional 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 según cada tramo, ya que atraviesa tanto zonas rurales como zonas urbanas durante su trayecto.

Figura 8. Localización del suceso





Nota: Mapa realizado con base en imagen satelital donde se indica el lugar del suceso y su contexto.

Fuente: JST, 2022

El relevamiento realizado por la JST corresponde al tramo comprendido entre la progresiva 112 y 112,2. En la Tabla 1 se describen las condiciones de la infraestructura vial en sus principales atributos.

Tabla 1. Descripción de la infraestructura vial en el tramo relevado km 112 Ruta Nacional 7

Datos de la ruta	
Nombre	Ruta Nacional 7
Kilómetro	112,2
Provincia	Buenos Aires
Localidad	San Andrés de Giles
Tipo	Autovía
Categoría	Nacional
Características	
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)*
<b>Características de la calzada ascendente hacia Carmen de Areco</b>	
Ancho	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 %
<b>Longitud y pendiente de banquetas pavimentadas</b>	
• Interna	2,40 m, 4 %
• Externa	2,70 m, 4 %
<b>Longitud y pendiente de banquetas sin pavimentar</b>	
• Interna	1,20 m, 4 %
• Externa	1,20 m, 4 %
<b>Características de la calzada descendente hacia San Andrés de Giles</b>	
Ancho	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 %
<b>Longitud y pendiente de banquetas pavimentadas</b>	

• Interna	0,50 m, 4 %
• Externa	2,50 m, 4 %
<b>Longitud y pendiente de banquetas sin pavimentar</b>	
• Interna	2,50 m, 4 %
• Externa	0,50 m, 4 %
<b>Características de mediana</b>	
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

Nota: (\*) información proporcionada por Dirección Nacional de Vialidad. Fuente: JST, 2021

El suceso ocurrió sobre la calzada con dirección a Junín que, hasta septiembre de 2019, era una ruta para ambos sentidos de circulación. Luego de la obra de duplicación de calzada en el tramo San Andrés de Giles —Acceso a Carmen de Areco— como parte del proyecto Autopista Ruta Nacional 7 (DNV, 2021), los dos carriles de la calzada existente pasaron a ser la vía de sentido ascendente y los dos carriles de la calzada nueva, la vía descendente hacia Capital Federal.<sup>2</sup>

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.

Debido a esta patología 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

---

<sup>2</sup> La documentación de referencia para la obra mencionada es el Pliego de Condiciones y Especificaciones Técnicas Particulares correspondiente a la Licitación Pública N.º 8/2014 Obra: Autovía Nacional N.º 7, Tramo: San Andrés de Giles – Junín; Sección: fin de variante por San Andrés de Giles (kilómetro 106,50) – Acceso a Carmen de Areco (kilómetro 139,20), Provincia de Buenos Aires. La Sección 4B del Pliego se compone de las Especificaciones Técnicas Particulares.

2021), se obtuvo la información mencionada en la Tabla 2, correspondiente al tramo ubicado entre los kilómetros 107 y 113.

Tabla 2. Profundidad de la huella por ubicación en la calzada y tipo de carril según progresivas (en milímetros)

Progresivas kilométricas	Calzada ascendente			
	Carril derecho		Carril izquierdo	
	Huella externa	Huella interna	Huella externa	Huella interna
107,0	11	9	7	5
107,2	7	7	9	7
107,4	12	12	7	5
107,6	5	7	6	5
107,8	7	11	5	2
108,0	5	5	4	5
108,2	12	9	5	4
108,4	12	8	4	4
108,6	12	13	4	2
108,8	18	15	9	3
109,0	12	13	8	4
109,2	12	7	7	2
109,4	14	5	7	3
109,6	15	15	2	2
109,8	15	15	5	5
110,0	11	15	4	2
110,2	6	4	4	2
110,4	6	14	4	3
110,6	5	7	5	3
110,8	7	7	5	5
111,0	7	5	2	3
111,2	7	5	4	5
111,4	7	8	2	3

Calzada ascendente				
111,6	11	5	6	9
111,8	5	4	5	9
112,0	18	15	8	7
112,2	7	12	14	7
112,4	15	13	12	9
112,6	15	15	8	9
112,8	18	18	9	7
113,0	7	5	4	5

Fuente: Dirección Nacional de Vialidad, 2021

En función de la información recolectada, se destacan aquellas mediciones consideradas relevantes:

- la calzada 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 la externa e 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 externa como para la interna.
- el carril izquierdo presenta valores de ahuellamiento 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.

Por otro lado, 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 de los propietarios frentistas se realiza directamente desde la calzada principal sin colectoras y distribuidores.

- las alcantarillas y sumideros de reja están colocados en el cantero central, debido a la susceptibilidad hídrica y a la frecuencia de anegamientos en los costados del camino. La presencia de ambas estructuras hídricas 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 extremo de la barrera longitudinal impactada por el vehículo estaba dispuesta a 3,60 metros del borde de la calzada como sistema de contención ante el sumidero de reja no transitable ubicado en el cantero central en la progresiva 112,2. Dicha barrera era semirrígida, con 11 postes y viga doble onda, ambos componentes de metal. No poseía ningún grado de abocinamiento en sus alas terminales, estas se encontraban paralelas al eje de la vía y el tratamiento de la terminal era del tipo “cola de pez” (ver figura 9).

Figura 9. Barrera de contención lateral con terminal de cola de pez



Nota: barrera de contención lateral con terminal cola de pez instalada en la RN7. Fuente: Google Street View.

Según la información suministrada por la DNV (2021) el tipo de barrera de contención aprobada e instalada presentaba las siguientes características:

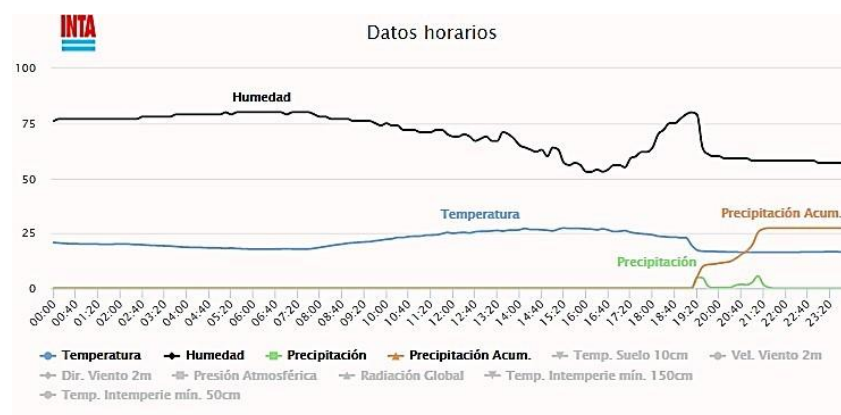
1. Especificaciones técnicas según el artículo 7 de la sección 4b del Pliego de Especificaciones Técnicas Particulares (PETP):
  - Defensa según plano tipo H-10237,
  - Clase “B”,
  - Tipo de postes pesado,

- Alas terminales a colocar según plano tipo,
  - Longitud útil, múltiplo de 3,81 m.
2. Ubicación de barreras en ambos costados de calzada según las siguientes situaciones según Plano Perfil Tipo de Obra Básica RN7 tramo km 106,8 hasta 124,0:
- en presencia de cabeceras de alcantarillas principales o estructura de puentes,
  - en presencia de sumideros de cantero central no traspasables,
  - cuando se proyecte una pendiente de talud no recuperable (mayor a 1:4),
  - Distancia lateral mínima de 3,00 m con respecto al borde de calzada y a 0,50 m del borde de banquina y a 0,50 m del borde del talud.

#### 2.4.1. Información meteorológica

Según datos de la Estación Meteorológica Automática del INTA (Castelar - ICyA CIRN, identificación A872801), localizada a 87 kilómetros del lugar, el día 23 de abril tuvo una temperatura mínima de 21,5°C y una máxima de 27,6°C, con dirección del viento media NE. Las precipitaciones totales del día fueron de 27,4 mm, según detalle del siguiente climograma. De acuerdo con el Servicio de Hidrografía Naval, el día de referencia el crepúsculo había tenido lugar a las 18:45, aproximadamente.

Figura 10. Climograma de Castelar



Nota: la figura muestra la evolución de parámetros de humedad, temperatura, precipitación y precipitación acumulada según rango horario. Fuente: INTA, 2020.



Según el resumen aportado por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), las condiciones meteorológicas en la zona de San Andrés de Giles en el momento del suceso fueron las siguientes:

- Cielo: nublado
- Viento: suaves a leves (6 a 19 km/h), prevaecientes del sector norte
- Visibilidad: buena
- Fenómenos significativos: en horas precedentes al hecho, se observaron tormentas con precipitaciones de variada intensidad en la zona de interés

#### 2.4.2. Aspectos del vehículo involucrado

A continuación, se reúne la información referida al automóvil involucrado en el suceso.

##### *Aspectos relativos a la fabricación del vehículo (chasis y 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.

Tabla 3. Datos de identificación del vehículo involucrado

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

Fuente: DNRPA, 2021

La Tabla 4 presenta las características técnicas del vehículo involucrado en el suceso, expresadas en sus unidades de medida según corresponde al atributo observado.



Tabla 4. Resumen de características técnicas Ford Mondeo

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

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), brinda 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) y cuenta con transmisión automática eCVT y tracción delantera.

A continuación, en la Tabla 5 se identifican los sistemas de seguridad activa y pasiva con los que está equipada la unidad.

Tabla 5. Sistemas de seguridad activa y pasiva del modelo Ford Mondeo Vignale híbrido

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

Seguridad activa	Seguridad pasiva
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	-

Fuente: Manual de usuario Ford Mondeo, 2018

Según 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.

### 2.4.3. Condiciones y acciones del conductor

#### *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.

#### *Información toxicológica*

La Asesoría Médica y Desempeño Humano de la JST (2022) realizada con base en el informe forense, indica en relación con el estado toxicológico del conductor la ausencia de alcohol y drogas<sup>3</sup> en sangre al momento del suceso.

#### *Condiciones de salud preexistentes*

La Asesoría Médica y Desempeño humano de la JST (2022) realizada con base en el informe forense, sugiere la existencia de enfermedades preexistentes observables en lesiones isquémicas antiguas en el cerebro y corazón del conductor. También se identificó una obstrucción del 70 % de la luz en la carótida principal derecha.

#### *Características del viaje*

El recorrido con destino a la ciudad de Junín era realizado de manera habitual por el conductor, ya que trabajaba en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y su familia

---

<sup>3</sup> Anoréxicos, anfetaminas, antidepresivos, antihistamínicos, anestésicos locales, analgésicos narcóticos, fenotiazinas, benzodiazepinas, analgésicos no esteroideos, antiinflamatorios, anticonvulsivantes, barbitúricos, diuréticos y otros.

residía en la localidad mencionada. El accidente ocurrió un viernes, en horario nocturno (21:30), mientras retornaba a su ciudad de origen, en condiciones de manejo en soledad (siendo el 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 del accidente y tampoco sobre los patrones de sueño habituales ni a información detallada sobre las 72 horas previas al suceso.

### *Velocidad*

A lo largo de la investigación existieron dificultades para obtener información acerca de la trayectoria del vehículo y para identificar rastros en la vía (ver apartado 2.2.4, el lugar del suceso fue alterado, lo cual impidió obtener datos imprescindibles para estimar la velocidad). No se lograron obtener datos técnicos en materia de absorción de energía de deformación del vehículo y de la barrera (Anexo 3). Tampoco se encontraron ensayos análogos que resultaran válidos para realizar estimaciones de velocidad rigurosas, ni se obtuvieron datos del Event Data Recorder (EDR). Por estas razones, no fue posible determinar la velocidad de circulación del vehículo al momento de la pérdida de control ni al momento del impacto con el extremo de la barrera de contención lateral (ver Anexo 3).

## **2.5. Factores gubernamentales y regulatorios**

### **2.5.1. Aspectos relativos a la concesión de la vía**

El contrato de concesión, los Pliegos de Especificaciones Técnicas Generales (PETG) y de Especificaciones Técnicas Particulares (PETP), establece los términos y condiciones que regulan la concesión de la obra pública por peaje (Decreto 1036/2020) para la construcción, mejora, reparación, promoción, ampliación, remodelación, mantenimiento, administración, explotación y prestación de servicios al usuario en el marco de la Ley 17520, sus modificatorias y reglamentarias.

El 23 de diciembre de 2020 se celebró entre el Estado Nacional, a través del Ministerio de Obras Públicas, y la empresa Corredores Viales SA el Contrato de Concesión del tramo que contiene a la Ruta Nacional 7 y que corresponde al Tramo VIII. Desde la toma de posesión y al menos por los 10 años subsiguientes (clausula 3era del contrato

de concesión) entre los deberes de la concesionaria quedan las tareas de mantenimiento, reparación y conservación como las obras previstas necesarias para que las rutas estén adecuadas a las condiciones exigidas por el pliego y Plan de Obras. El objeto de estas es garantizar la seguridad vial y la comodidad de los usuarios de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV). Por su parte, el seguimiento y control es realizado por la DNV, quien debe actuar según los parámetros establecidos en el Manual de Procedimientos para la Administración, Supervisión y Control del Contrato de Concesión y manuales de diseño vigentes.

### 2.5.2. Diseño de las barreras de contención lateral

Según la DNV el proyecto de obra del tramo donde ocurrió el suceso utilizó como marco de referencia (documentación y normativa) para su diseño e implantación los siguientes documentos:

- Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 1980 (normativa vigente).
- Proyecto de Actualización de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 2010.
- Manual de Diseño Vial Seguro, DNV 2007.
- Manual de Prácticas Inadecuadas de Seguridad vial, DNV 2007.
- Pliego de Licitación, con sus condiciones de contratación y Especificaciones Técnicas Particulares.
- Pliego General de Especificaciones Técnicas Generales de la DNV, Ed. 1998 y sus Anexos.
- “Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos”, Sección Barreras Laterales y su Anexo “Catálogo de Sistemas de Contención de Vehículos Tipos Barreras Laterales”.

A continuación, se describen y comparan las Normas vigentes de Diseño Geométrico de Carreteras (DNV 1980), el proyecto de actualización de la norma (DNV 2010) y las Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos en la Sección

Barreras Laterales (DNV, 2010)<sup>4</sup> que desarrollan de manera exhaustiva lo referente al diseño e instalación de las barreras. Los aspectos comparados son aquellos que resultan relevantes al diseño y la seguridad en la configuración de las barreras de defensa: nivel de contención (tabla 6); distancia lateral (tabla 7); alas extremas (tabla 8) y tratamiento de terminales (tabla 9).

Tabla 6. Comparativa de la normativa de diseño de carreteras y configuración de barreras de contención lateral según nivel de contención

Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 1980 (normativa vigente)	No se menciona el concepto “Nivel de Contención”, sin embargo, los diseños indicados tienen el detalle de ensayos a barreras y la deflexión obtenida.
Proyecto de Actualización de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 2010	La selección del nivel de prueba para un proyecto está asociada con la velocidad de diseño, composición del tránsito y las condiciones del entorno. La barrera longitudinal cumplirá como mínimo los niveles de prueba (TL) del NCHRP Report 350 (Tabla 7.8. norma DNV 2010), la cual señala que para velocidades de diseño mayores o iguales a 80 km/h el nivel de prueba corresponde a un TL-3. Asimismo, realiza una comparación entre los niveles de prueba de los Estados Unidos con la normativa europea (EN 1317).
Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de	Para el caso de carreteras de alta velocidad la NCHRP 350 define como aceptable el nivel de ensayo 3 (TL-3). Para el caso de zonas de obra define como aceptable el

<sup>4</sup> Esta normativa surge a partir de considerar los siguientes aspectos: llenar el vacío regulatorio que ha producido el avance tecnológico; instituir el accionar conjunto de la gerencia de planeamiento, investigación y control, y de la gerencia de obras y servicios viales; estandarizar la definición de los requisitos de seguridad con los que deben contar los sistemas de contención con base en ensayos a escala real; contemplar la aplicación de la norma norteamericana NCHRP 350 y la Norma Europea EN 1317.



Vehículos Sección Barreras Laterales, DNV 2010	nivel de ensayo 2 (TL-2). Al igual que el proyecto de actualización realiza una comparación con los niveles de prueba de la normativa europea.
--	--

Fuente: elaboración propia con base en normativa de diseño y recomendaciones correspondientes a la DNV. JST, 2022

Tabla 7. Comparativa de la normativa de diseño de carreteras y configuración de barreras de contención lateral según distancia lateral entre borde de calzada e instalación

Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 1980 (normativa vigente)	La cara interna de la baranda se debe ubicar como mínimo a 0,60 a 1 m de distancia del borde de banquina y 3,7 a 4 m de distancia del pavimento.
Proyecto de Actualización de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 2010	Donde se necesite una barrera lateral para proteger de un peligro aislado, es más importante que la barrera sea ubicada tan lejos de la calzada como las condiciones lo permitan, considerando el ancho de trabajo del sistema a instalar. Para barreras cortas y aisladas, establece que las mismas deben estar ubicadas con respecto a la calzada más allá de la distancia de sobresalto, la cual para una velocidad de 110 km/h es de 2,80 m.
Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos Sección Barreras Laterales, DNV 2010	Específicamente sobre las distancias laterales entre calzada y barrera no indica nada este documento, sin embargo, sobre la instalación expresa lo siguiente: “Finalmente es del caso destacar que en la implantación y el diseño de la barrera se deberá tener en cuenta no caer, en caso de que corresponda, en las distintas practicas inadecuadas agrupadas con el código “h-Defensas” y descrito en el Manual de Practicas Inadecuadas de la DNV” (apartado 5to).

Fuente: elaboración propia con base a normativa de diseño y recomendaciones correspondientes a la DNV, JST 2022.

Tabla 8. Comparativa de la normativa de diseño de carreteras y configuración de barreras de contención lateral según alas externas

<p>Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 1980 (normativa vigente)</p>	<p>Se debe realizar tratamiento a los extremos, ya que pueden significar uno de los objetos más peligrosos para el tránsito.</p> <p>En barreras semirrígidas se recomienda eliminar el extremo de barrera enterrándolo o anclándolo.</p> <p>En barreras flexibles se recomienda abocinar los últimos 16 metros de la barrera (en cada extremo) hacia adentro de la zona despejada, es decir al lado opuesto del camino con un giro de 2°20', al mismo tiempo que desciende para quedar enterrada.</p>
<p>Proyecto de Actualización de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 2010</p>	<p>Recomienda el abocinamiento o retranqueo de las alas terminales para minimizar el sobresalto del conductor por la aparición de un obstáculo próximo a la calzada. Este método tiene la ventaja de introducir la defensa de manera gradual; para minimizar las desventajas de esta práctica, se indican tazas máximas de abocinamiento de acuerdo a la velocidad directriz del tramo y la zona de ubicación de la barrera.</p> <p>No se recomienda el abatimiento de los extremos (terminales enterradas), los mismos puede funcionar como rampa, ocasionando que el vehículo vuelque o salte, sobre todo en rutas con velocidades mayores a 70 km/h.</p>
<p>Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos Sección Barreras Laterales, DNV 2010</p>	<p>Específicamente sobre el diseño de las alas terminales no se indica nada en las "Recomendaciones".</p>

Fuente: elaboración propia con base a normativa de diseño y recomendaciones correspondientes a la DNV, JST, 2022

Tabla 9. Comparativa de la normativa de diseño de carreteras y configuración de barreras de contención lateral según el tratamiento de terminales

<p>Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 1980 (normativa vigente).</p>	<p>Esta normativa engloba el tratamiento de las alas extremas y terminales para barreras metálicas, en soluciones como: abocinar, enterrar o anclar los mismos, para evitar que éstos sean un objeto peligroso para el tránsito pasante.</p>
<p>Proyecto de Actualización de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 2010.</p>	<p>Un tratamiento de extremo a prueba de choques es considerado esencial si una barrera termina en la zona despejada o es ubicada en una zona donde es posible que sea chocada.</p> <p>Los tratamientos de extremos a colocar en la longitud de necesidad de las barreras se requieren que tengan la misma capacidad de redireccionamiento que la barrera lateral estándar. Los tratamientos de extremo traspasables se ubicarán fuera de la longitud de necesidad y se requiere una zona despejada por detrás de la barrera de al menos 25 m.</p> <p>Para las barreras semirrígidas se cuenta con una serie de diseños libres y patentados La selección de un sistema en particular dependerá de las características de la zona de emplazamiento. Recomendables como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terminales abocinados,</li> <li>• Terminales abatidos (no recomendable),</li> <li>• Terminales abocinados y abatidos,</li> <li>• Terminales abocinados y empotrados,</li> <li>• Terminales comerciales (a prueba de choque con un TL-3 según NCHRP R350),</li> <li>• Amortiguadores de impacto.</li> </ul>
<p>Recomendaciones sobre Sistemas de</p>	<p>Las recomendaciones expresan no caer en las distintas prácticas inadecuadas agrupadas en el código</p>

<p>Contención de Vehículos Sección Barreras Laterales, DNV 2010.</p>	<p>“h- defensas” del Manual de Prácticas Inadecuadas (DNV, 2007). En dicho manual se encuentra la practica inadecuada h.3) comienzo de barrera con “cola de pez”, la cual expresa que:</p> <p>“Los comienzos de barrera con dispositivo 'cola de pez' en el sentido de avance de la marcha, son una práctica inadecuada, porque en caso de impactar contra él, se empotra en el vehículo. Como solución se plantea que el extremo de una barrera debe ser abatido hasta anclarse en tierra, separándolo de la calzada. El abatimiento de los extremos de barrera, tienen la desventaja de que pueden producir efecto trampolín si un vehículo se sube a la barrera. La normativa americana coloca amortiguadores de impacto antes de la cola de pez, dispositivo también eficaz, pero notablemente más caro que el abatimiento a tierra”.</p>
--	---

Fuente: elaboración propia con base a normativa de diseño y recomendaciones correspondientes a la DNV, JST, 2022

### 2.5.3. Mantenimiento de las barreras de contención lateral

De acuerdo con los términos y condiciones del contrato de concesión, que determinan la actuación de la concesionaria sobre las barreras de contención lateral en el tramo del suceso, la empresa debe encargarse de las tareas de conservación, entre ellas el mantenimiento y reemplazo de las barreras de defensa, respetando las normas de la DNV y según se establece en el artículo 9.10 del PETG (2020). El mencionado artículo hace referencia a los dispositivos destinados a encauzar y contener los vehículos que, por situaciones de emergencia, puedan abandonar descontroladamente las calzadas de circulación.

La concesionaria debe mantener (por reemplazo o por reparación) el conjunto de barandas de defensa existentes en los Corredores Viales (PETG, 2020). En este se expresa que las barandas de defensa deben estar completas y en condiciones de

funcionalidad. Cuando estas sean dañadas por choque o por cualquier otra circunstancia, deberán ser reemplazadas. Cuando se trate de barandas tipo *flex beam*, se permitirá el uso de elementos reacondicionados siempre que, a juicio de la supervisión, esos elementos reúnan condiciones técnicas y estéticas semejantes a las exigidas para barandas nuevas. A su vez, todas las barandas, tanto las existentes como las que se repongan, deben estar provistas de elementos reflectivos para indicar su presencia en horas nocturnas, pudiéndose utilizar para ello arandelas “L” recubiertas de lámina reflectiva para las de tipo *flex beam* o elementos catadióptricos (“ojos de gato”) en los restantes tipos de baranda, que irán adosados en coincidencia con los respectivos bulones. Las barandas a emplazar deberán responder a las normas de la Dirección Nacional de Vialidad.

### 3. ANÁLISIS DE DATOS

En esta sección se integran parte de los datos que describen el suceso para evaluar la participación de distintos factores desencadenantes y condiciones latentes involucrados.

#### 3.1. Factores desencadenantes

En este apartado se analizan cuatro factores que podrían haber estado vinculados al desencadenante de la pérdida de control del vehículo que derivó en la secuencia del suceso. Durante la investigación no se encontró evidencia de fallas mecánicas que hubieran contribuido al evento.

En primer lugar, como indica el informe forense (2021), se identificó la preexistencia de una obstrucción del 70 % de la luz en la carótida principal derecha y lesiones isquémicas antiguas en el cerebro y corazón. A partir de este dato la Asesoría Médica y de Desempeño Humano de la JST (2022) indicó que la condición clínica previa y en particular, la de obstrucción de la carótida, podría tener alguna incidencia sobre el desempeño en la conducción. Es por esta razón que se podría inferir que dicha condición podría presuponer una situación de hipoflujo cerebral previo al trauma. Este tipo de obstrucciones pueden causar enfermedades cerebrovasculares como, por ejemplo, un derrame cerebral o un ataque isquémico transitorio, de unos minutos de

duración, con el consiguiente riesgo que implica para la conducción (Diels y Reed, 2007). La confidencialidad de la información vinculada al estado de salud no permitió indagar en la historia clínica del conductor. Es por esto que la información proporcionada por la Asesoría Médica y Desempeño Humano fue la única vía para aproximarse a esta dimensión. Los datos disponibles no permiten ubicar a la salud del conductor como un factor desencadenante, pero sí identificar que se trata de un factor de riesgo en la conducción.

En segundo lugar, a partir de las condiciones en las que se estaba produciendo el desplazamiento previo a la pérdida de control del vehículo, horario nocturno (21.30), hacia el final de la semana de trabajo, con la carga laboral de un funcionario de alto rango, con escasa iluminación, en solitario (único ocupante del vehículo) y de retorno a la ciudad de origen por un camino frecuentemente transitado, el desempeño en la tarea de conducción pudo verse afectado por la presencia de fatiga. La fatiga constituye un estado psicofísico que afecta globalmente al organismo produciendo una disminución de la capacidad energética por la acción de cansancio, generando síntomas físicos y psicológicos (Williamson, 2011). Este estado afecta la atención en la conducción haciendo al conductor más vulnerable a las distracciones y a la somnolencia (Dinges et al., 1997, Dawson y McCulloch, 2005). Existe evidencia de que la fatiga disminuye los niveles de alerta y vigilancia del conductor, alterando parámetros psicofisiológicos que son relevantes para la actividad de conducir (Lal y Craig, 2001, Williamson, 2011). Además, se reconoce que reduce la capacidad de procesar la información del entorno vial y de responder de forma óptima frente a las situaciones dinámicas del tránsito (Van der Linden, Frese y Meijman, 2003). Dada la confidencialidad del suceso investigado no se pudo acceder a información necesaria para analizar la participación de la fatiga del conductor, como es su estado de salud, sus patrones habituales de sueño, las horas de vigilia antes del accidente, y los tiempos de trabajo/descanso durante los últimos días previos al suceso. Por lo tanto, no existen datos suficientes para obtener una conclusión sobre el rol de la fatiga en este accidente.

Otra de las dimensiones que emergió en el transcurso de la investigación como un potencial factor desencadenante refiere a la pérdida de control por hidroplaneo. Las

variables que pueden contribuir a la producción de este fenómeno están vinculadas a las características del vehículo y de circulación (estado de neumáticos; tecnología, peso bruto y velocidad), en combinación con las condiciones de la vía y el entorno (estado de la calzada, meteorología, tránsito). En el caso estudiado, las precipitaciones ocurridas previo al suceso y las deformaciones transversales (ahuellamiento) identificadas en la calzada, detalladas en la sección 2.5.1, fueron observados al iniciar la investigación como factores que podrían haber contribuido a la pérdida de control. El análisis realizado para estimar la probabilidad de ocurrencia de este fenómeno arrojó como poco probable que este haya sido un elemento contribuyente al desencadenamiento del suceso (Anexo 4).

La velocidad en la conducción, aunque no necesariamente actúa como un factor desencadenante unívoco, es un elemento que al funcionar articulado con otros puede actuar amplificando las resultantes de los accidentes de tránsito (Aarts y Van Schagen, 2006; Hauer, 2009). En este caso, potencialmente puede situarse la velocidad como un agravante del impacto con la barrera de contención lateral dado que, a mayor velocidad, la energía disipada a través de los daños se incrementa. La imposibilidad de estimar la velocidad de impacto no permitió establecer la magnitud con que este factor participó en la dinámica del suceso.

### 3.2. Condiciones latentes

En el proceso de investigación se identificó como una condición latente el diseño de la barrera de contención lateral cuya terminal “cola de pez” actuó como un agravante de los resultados de suceso al penetrar en el vehículo.

#### 3.2.1. Barreras de contención lateral

Como se mencionó en el apartado 2.5.1, las barreras de contención lateral instaladas en el tramo fueron aprobadas por la DNV bajo la normativa y documentación mencionadas oportunamente.

La barrera involucrada en el suceso corresponde al modelo tipo H-10237 clase “B”, donde se detallan sus dimensiones, longitudes y diseño. Este modelo no estaba ensayado y certificado al momento de la publicación de las “Recomendaciones sobre

Sistemas de Contención de Vehículos Sección Barreras Laterales” (DNV, 2010). Según indicaba, quedaba en análisis la factibilidad de realizar dicha prueba, por lo cual se desconoce su nivel de contención.

Debe tenerse en cuenta que las barreras de defensa representan un obstáculo en sí. Por esta razón, su proyección y posterior instalación debe considerar que no impliquen un riesgo mayor que el propio obstáculo a proteger en caso de ser impactadas por un vehículo. Es por esto que la normativa de 2010 publicada por DNV recomienda que las barreras sean ensayadas y certificadas. Además, se brindan una serie de parámetros para su implantación, como las longitudes de desarrollo que deben tener en relación al obstáculo, ubicación y tratamiento de los extremos.

Realizando una comparación entre las previsiones de los documentos indicados en las tablas de la sección 2.5.4.2 y la barrera instalada, destaca la configuración de las alas extremas y el tratamiento de terminales. Según esos documentos se recomienda abocinar las alas extremas para, de esta manera, evitar el sobresalto de los conductores frente a un cambio repentino de la infraestructura, sobre todo cuando se trata de barreras aisladas o de corta distancia como la implicada en el suceso investigado. En este caso se encontraba ubicada paralela al eje de la vía, sin abocinar y además con terminales del tipo “cola de pez”. De los tipos de terminales existentes, este tipo es de los que tienen menor capacidad de absorber energía ante un impacto. Existen numerosos estudios (Sicking *et al.*, 1989; NTSB, 2014; Pigman, *et al.*, 1984) que proponen mejorar las terminales mediante diferentes mecanismos sobre el último tramo de la barrera. Estas terminales no se aconsejan, sobre todo en el extremo que está en sentido de la marcha del tránsito, debido a que si un vehículo impacta contra estas puede quedar empotrado o ser penetrado e imponer una fuerte desaceleración a las personas que viajan en el habitáculo. En este sentido, en las diferentes normativas se dan distintas soluciones y recomendaciones para el tratamiento de extremos, los cuales se pueden aplicar según el entorno de la ruta y las especificaciones del proyecto de obra.



## 4. HALLAZGOS

Por el rol que tuvo la barrera de contención lateral como agravante de los resultados del suceso, fue jerarquizada como un elemento de indagación en profundidad. Los principales hallazgos son aquellos relativos a esta cuestión y refieren a:

1. Las normas de Diseño Geométrico de Carreteras, DNV 1980 —única de cumplimiento obligatorio— no cuenta con alternativas de diseños para diferentes condiciones de tránsito. En otras palabras, solo brinda especificaciones técnicas de diseños de 3 tipos de barreras flexibles; 3 semirrígidas y 1 rígida. Tampoco cuenta con especificaciones para la implantación de las barreras, por ejemplo, en relación con el abocinamiento, distancia lateral y longitud total necesaria.
2. El Proyecto de Actualización de la Norma y las Recomendaciones sobre Sistemas de Vehículos, Sección Barreras Laterales (2010) introduce el concepto de nivel de contención según los ensayos realizados por el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras de EE. UU (NCHRP, por sus siglas en inglés) recomendados en el reporte 350: “Procedimientos recomendados para la evaluación del desempeño de seguridad de las características de la carretera”. Sin embargo, este no es de cumplimiento obligatorio.
3. El Proyecto de Actualización de la Norma (2010) —que no constituye normativa vigente— y las Recomendaciones Sobre Sistemas de Vehículos Sección Barreras Laterales (2010) indican que las barreras de contención metálicas con terminal "cola de pez" son consideradas las más inseguras, especificando que pueden penetrar la carrocería y llegar al habitáculo del vehículo. Sin embargo, no hay ninguna prohibición de su uso.
4. El Proyecto de Actualización de la Norma (2010) —sin vigencia— recomienda tratamientos diferentes para las terminales de las barreras metálicas, estableciendo mejores condiciones de seguridad al momento de que un vehículo salga despistado de la ruta e impacte con el extremo de esta, para evitar la penetración en el habitáculo del vehículo.

5. La norma vigente de 1980 y las Recomendaciones Sobre Sistemas de Vehículos Sección Barreras Laterales (2010) desaconsejan la terminal de “cola de pez”. En estos casos, recomiendan su abocinamiento. Sin embargo, en el plano tipo H-10237-1 aprobado para su uso por la DNV en la red nacional de caminos, muestra como uno de los diseños posibles para las terminales de las barreras metálicas las de tipo “cola de pez”. Esta condición establece una contradicción entre la documentación referida.

A modo de conclusión, los hallazgos permitieron identificar una condición latente vinculada a la presencia de inconsistencias en la normativa que regula el diseño e implantación de barreras. Esta situación habilita la instalación de terminales que no alcanzan niveles de seguridad acordes a los contextos de operación específicos de las vías.

## 5. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

### 5.1. Recomendaciones de Seguridad Operacional surgidas del Informe de Seguridad Operacional

La Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores de la Junta de Seguridad en el Transporte emite con fundamento las siguientes Recomendaciones de Seguridad Operacional:

Destinatario: A la Dirección Nacional de Vialidad

#### RSO AU-34-2023

Desarrollar una única norma aplicable para el diseño, implantación y mantenimiento de barreras de contención lateral que incorpore alternativas para el tratamiento de las terminales según entornos y contextos de operación y que reduzca al mínimo el uso de la terminal “cola de pez”.

## RSO AU-35-2023

Desarrollar un plan de reconversión de las terminales tipo “cola de pez” existentes en la red nacional que no se encuentren abocinadas, atendiendo prioritariamente aquellos extremos ubicados en el sentido de avance del tránsito.

## 6. PROBLEMAS DE SEGURIDAD RELEVANTES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

A lo largo del proceso de investigación se pueden identificar factores que requieren atención debido a sus implicancias en la seguridad en el transporte automotor y que, aunque no se desarrollan en el presente documento, podrán ser indagados en futuras investigaciones.

### 6.1. Ahuellamiento

Como se indicó en el apartado 2.5.2, en la calzada donde ocurrió el suceso pudo observarse la existencia de deformaciones transversales en ambos carriles cuya medición fue realizada a los fines de esta investigación por la Dirección Nacional de Vialidad. Para el análisis en profundidad de esta dimensión es necesario poder determinar el nivel de severidad de la patología de acuerdo con los parámetros vigentes. Estos 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 (AASHTO 2003).

Las mediciones realizadas cada 200 metros entre la progresiva 107 y 113 (Tabla 2, sección 2.5.2) muestran como tendencia general que en el carril lento el nivel de severidad de la patología registrada en la huella externa e interna es de grado medio. En ambos casos el promedio de las mediciones se ubica cerca del límite inferior del rango definido (10 mm a 25 mm). El desvío respecto de estos valores se encuentra en los 200 metros previos al punto de impacto del vehículo donde la profundidad se ubica en los 18 mm para la huella externa y 15 mm para la interna, despegándose levemente del promedio.

En el caso del tramo donde ocurrió el suceso, la toma de posesión por parte de la empresa concesionaria fue el 23 de diciembre del año 2020, cuatro meses exactos previos al accidente. De acuerdo con lo establecido en el artículo 45 del PETG, dentro de los 5 (cinco) meses de la toma de posesión, la concesionaria y la Oficina Técnica de la DNV deben relevar el estado de los tramos a los fines de determinar la necesidad de ejecutar obras de repavimentación y proponer el Plan de Obras. El suceso investigado ocurrió cuatro meses después de la toma de posesión y un mes antes del vencimiento del plazo de cinco meses referido precedentemente, por lo que las acciones previstas en dicho artículo se encontraban dentro de plazo establecido.

## 6.2. Preservación del lugar del suceso

En el informe se describió cómo se encontró el lugar del siniestro y se identificaron posibles factores que modificaron los rastros disponibles. La preservación de estos últimos y de cualquier dato en el lugar del hecho vial está principalmente destinada a evitar la pérdida de información, ya que esto podría afectar negativamente el desarrollo y los resultados de las investigaciones. Quienes intervienen en la atención y el rescate de personas, y/o en la prevención de otros riesgos derivados del evento (otros incidentes, emisión de gases o fluidos, incendios, entre otros), pueden modificar la disposición final de los vehículos y/o partes de éstos, alterando ciertos elementos asociados al suceso. Si bien las investigaciones judiciales y las investigaciones desarrolladas por la JST persiguen objetivos diferentes y se plantean desde enfoques distintos, ambas dependen de una adecuada preservación de indicios en el lugar del siniestro. Debido a la importancia de estas acciones la JST elaboró un documento (JST, 2021) con lineamientos para la preservación de datos en el lugar del suceso, pero dado la multiplicidad de actores que participan en la atención posaccidente es necesario avanzar hacia la protocolización de las intervenciones de cada uno de ellos de manera coordinada.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Se encontró como antecedente el “Protocolo de actuación de siniestros viales” elaborado por el Ministerio de Justicia, Ministerio de Salud y Ministerio de Transporte, pero el mismo se encuentra sin aplicación efectiva.

## 7. FUENTES DE INFORMACIÓN

DNV (2021), Respuesta de NO-2021-40608576-APNJST#MTR (07/05/21), PUNTO III a - Informe Proyecto Duplicación de Calzada.

Dirección Nacional de Vialidad (s/f). Metodología de Evaluación de Estado de los Pavimentos. Dirección General de Conservación. 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](https://www.ford.com.ar/content/dam/Ford/websiteassets/latam/ar/nameplate/mondeo_vignale_hibrido/pdf/far-mondeo-vignale-hibrido-manual-propietario.pdf)

Junta de Seguridad en el Transporte (2022). Informe de Asesoría Médica y Desempeño Humano. Junta de Seguridad en el Transporte.

Junta de Seguridad en el Transporte (2021). Lineamientos para la preservación de indicios en el lugar del suceso. Disponible en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/10/guia\\_v211006\\_1.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/10/guia_v211006_1.pdf)

NTSB (National Transportation Safety Board) (2014). Highway Factors Group Chairman's Factual Report - Attachment 3 Caltrans Median Barrier Warrants.

Pliego de Especificaciones Técnicas General para Concesiones Viales (s/f). Dirección Nacional de Vialidad.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Covello, A. (2021). *Investigación sistémica de accidentes: Modelo para el transporte y la gestión de riesgos en sistemas complejos*. CICCUS.

Dawson, D., & McCulloch, K. (2005). Managing fatigue: it's about sleep. *Sleep medicine reviews*, 9(5), 365-380.

Dinges DF, Pack F, Williams K, Gillen KA, Powell JW, Ott GE, et al. (1997) Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4–5 hours per night. *Sleep*, 20(4):267–77.

Dirección Nacional de Vialidad (1980). Normas de Diseño Geométrico de Carreteras.

Dirección Nacional de Vialidad (2007). Manual de Diseño Vial Seguro.

Dirección Nacional de Vialidad (2007). Manual de Practicas Inadecuadas de Seguridad Vial.

Dirección Nacional de Vialidad (2010). Proyecto de Actualización de la Norma de Diseño Geométrico de Carreteras.

Dirección Nacional de Vialidad (2010). Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos Sección Barreras Laterales.

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.

Pigman, J. G., Agent, K. R., & Creasey, T. (1984). Analysis of Accidents Involving Breakaway-Cable-Terminal End Treatments.

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.

Sicking, D. L., Qureshy, A. B., & Ross Jr, H. E. (1989). Development of a Slotted-Rail Breakaway Cable Terminal. *Transportation Research Record*, 1233.

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.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Relevamiento en el lugar del accidente

u Se realizaron cuatro relevamientos en la Ruta Nacional 7 en el kilómetro 112,2, 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 11. Croquis del lugar del accidente: (1) Área del cantero central donde se ubican marcas (acorde el expediente judicial), que podrían ser de preimpacto, así como 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

## 9.2. Dinámica del suceso

### 9.2.1. Identificación de los rastros y daños

#### *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 12. Rastros de la barrera en el lugar del hecho. Fuente: JST, 2021



Figura 13. Tramo de la barrera desprendido. Fuente: JST, 2021



Figura 14. Deformación en el agujero de fijación de la viga con el primer poste. Fuente: JST, 2021



Figura 15. Zona del pliegue de la barrera. Fuente: JST, 2021



Figura 16. Deformación del tercer poste. Fuente: JST, 2021



Figura 17. Daño en el tercer poste. Fuente: JST, 2021

## 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 18. Deformaciones en el lateral izquierdo. Fuente: JST, 2021



Figura 19. Deformación en el techo y rotura de la luneta. Fuente: JST, 2021



Figura 20. Deformaciones en la puerta del conductor: desprendimiento de las bisagras. Fuente: JST, 2021





Figura 21. Roturas en el panel del tablero y el volante. Fuente: JST, 2021

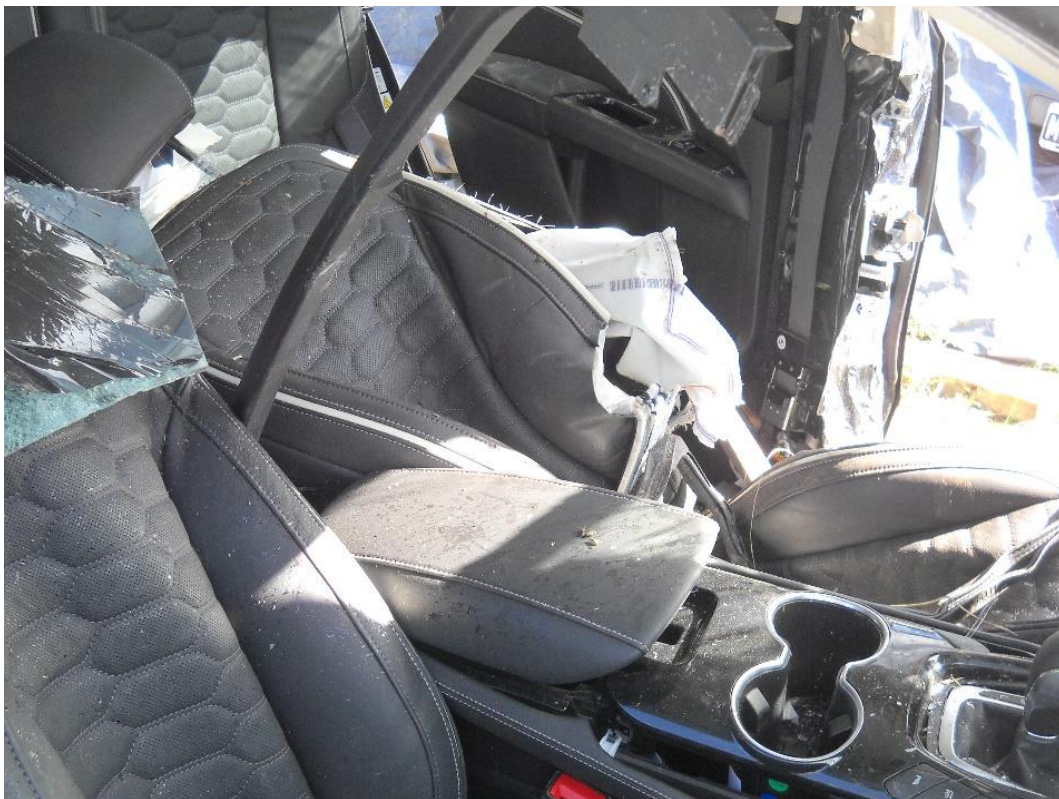


Figura 212. Daños en el asiento del conductor. Fuente: JST, 2021



Figura 23. Marcas de roce en el techo interior del vehículo. Fuente: JST, 2021

## 9.2.2. Dinámica resultante

### *Dinámica 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 24. 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  $45^\circ$ , tomando como referencia el eje longitudinal de la barrera y el eje longitudinal del rodado.



Figura 25. 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 26. 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.

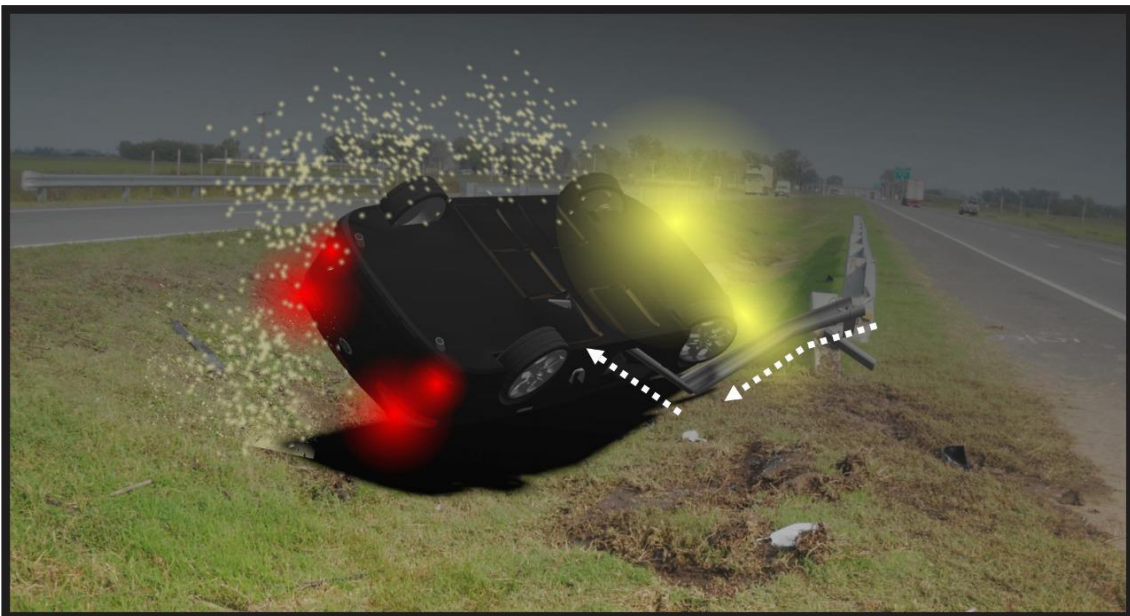


Figura 27. Vuelco tipo tonel. Fuente: JST, 2022

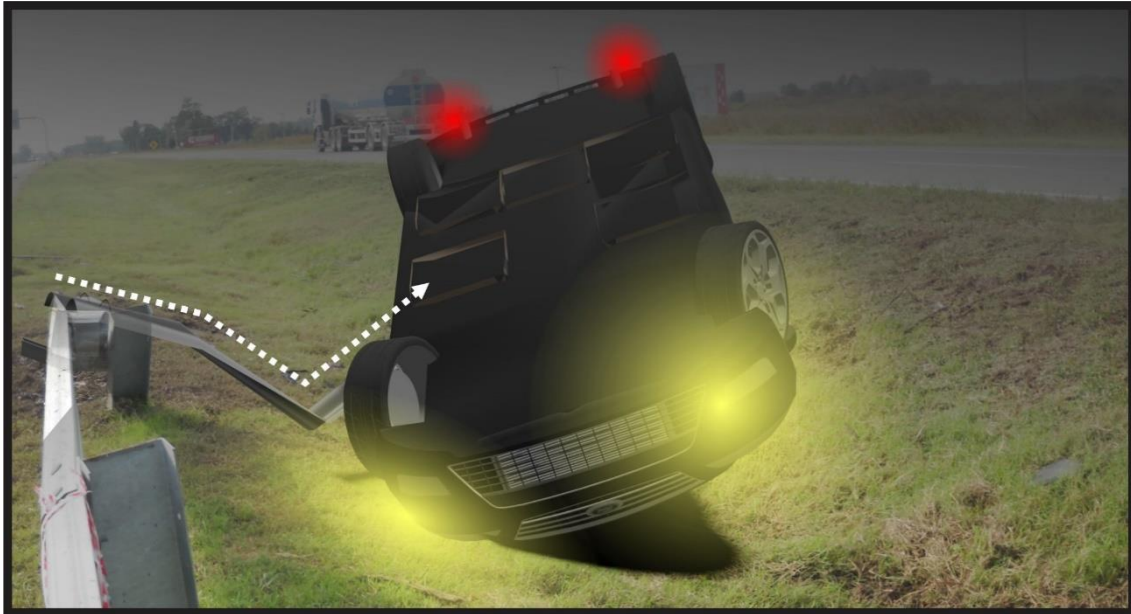


Figura 28. Posición final del vehículo. Fuente: JST, 2022

### *Dinámica 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 29. Además, se representa una probable baja velocidad de rotación en sentido horario.

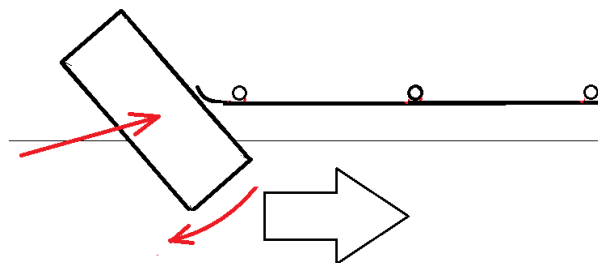


Figura 29. Vista plano de esquema del momento previo al impacto. Fuente: JST, 2022

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 16). 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 30).

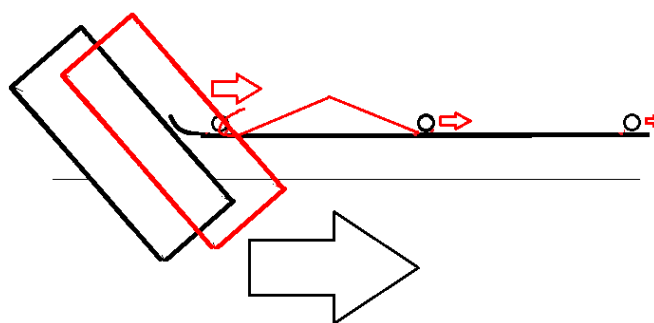


Figura 30. Vista plano de esquema del comienzo de las deformaciones. Fuente: JST, 2022

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.

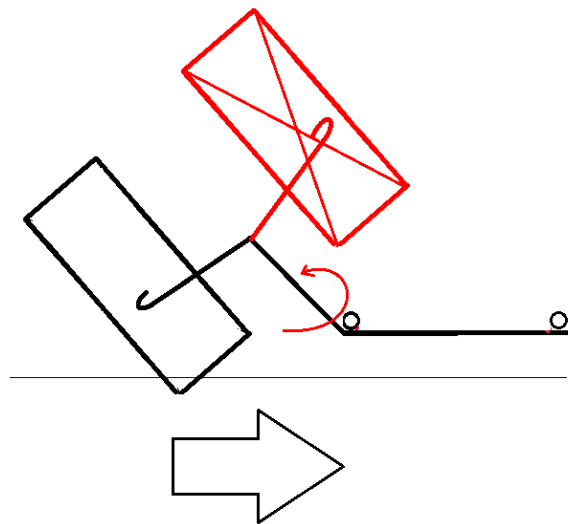


Figura 31. Vuelco del vehículo y posición final. Fuente: JST, 2022

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 encontrara girando en sentido opuesto a este efecto, es decir, en sentido horario.

### 9.3. 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. En esta investigación no se tuvo 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.).

Por lo expuesto no fue posible determinar con una confiabilidad adecuada la velocidad de impacto y de circulación del vehículo a través de la modelización fisicomatemática.

### 3. Estimación de velocidad promedio según dos 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.

Tabla 7. Parámetros para el cálculo de la velocidad promedio

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 suceso	24,7 km	
Velocidad promedio	164 km/h	116 km/h

Nota: (\*) Según cámara. (\*\*) Según lectura de antena de telepeaje. Fuente: JST, 2021

Al estimarse estas velocidades, 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, los resultados obtenidos a partir de los datos mencionados no guardan relación con la velocidad que tenía el vehículo al momento del suceso.

### 9.3.1. 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>.

Diels, C., & Reed, N. (2007). Driving at the Limit. Recuperado el 25/04/2022 de: [https://www.researchgate.net/profile/Cyriel-Diels/publication/255786011\\_Driving\\_at\\_the\\_limit/links/02e7e520aa0f01306300000/Driving-at-the-limit.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cyriel-Diels/publication/255786011_Driving_at_the_limit/links/02e7e520aa0f01306300000/Driving-at-the-limit.pdf).

Aarts, L., & Van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 215-224.

Hauer, E. (2009). Speed and safety. *Transportation research record*, 2103(1), 10-17.

Firestone, R. T., & Gander, P. H. (2010). Exploring knowledge and attitudes of taxi drivers with regard to obstructive sleep apnoea syndrome. *New Zealand Medical Journal* 123(1321), 24-33.

Taylor, A. & Dorn, L. (2006). Stress, fatigue, health, and risk of road traffic accidents among profesional drivers: The Contribution of Physical Inactivity. *Annual Review of Public Health*, 27, 371-391.

Dalziel, J. R., & Job, R. S. (1997). Motor vehicle accidents, fatigue and optimism bias in taxi drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 29, 489-494.

Amundsen, A. H., & Sagberg, F. (2003). Hours of service regulations and the risk of fatigue-and sleep-related road accidents. A literature review. *TØI Report*, 659.

Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological psychology*, 55, 173-194.

Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., & Connor, J. L. (2011). The link between fatigue and safety. *Accident Analysis & Prevention*, 43(2), 498-515.

Van der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*, 113, 45-65.

AASHTO (1993) . Guide for design of pavement Structures. American Association of state Highway Transportation Officials. Washington D.C.

Dirección Nacional de Vialidad (2010). Recomendaciones sobre Sistemas de Contención de Vehículos Sección Barreras Laterales. Dirección Nacional de Vialidad.

#### **9.4. Factibilidad de desarrollo de hidroplaneo**

El hidroplaneo (también conocido como *aquaplaning* o *hydroplaning*) de un vehículo es un fenómeno dinámico de pérdida de adherencia con el suelo. Esto ocurre por el aumento de la presión hídrica (agua) en la parte inferior de las cubiertas que generan fuerzas suficientes para separarlo de la calzada y provocan un cambio abrupto del coeficiente de fricción. Como resultado se produce la pérdida de control de la dirección del vehículo.

En este caso las variables que contribuyeron a la hipótesis del escenario de hidroplaneo son: a) las condiciones de retención de agua en las huellas presentes en la calzada por las lluvias registradas ese día y b) la velocidad estimada de circulación.

Si bien existen modelos físico-matemáticos (Gallaway, 1979; Ivey et al. 1975; Navin, 1995; TRB, 1998, por nombrar algunos ejemplos) que predicen la factibilidad de la ocurrencia de este fenómeno basándose en algunas variables fácilmente medibles en condiciones de ensayo (ej. velocidad del vehículo, ancho de cubiertas, profundidad de

dibujo, profundidad de la capa de agua, caudal de lluvia, etc.), en la práctica existen múltiples parámetros que influyen, haciéndolo más complejo y más difícil de predecir.

Según el marco teórico del modelo de Horne (rfs), sobre una capa de agua menor a 10 mm y con una presión de inflado de neumáticos de 35 psi (440 kPa), el hidroplaneo ocurriría en el entorno de los 100 km/h (Navin, 1995). Sin embargo, es necesario considerar que estos modelos de cálculo se realizaron con vehículos de una tecnología muy inferior a la de la actualidad. A continuación, se enumeran las variables como síntesis de estos modelos y se incluyen otras que son propias de este suceso:

1. Características asociadas al vehículo:
  - a. Velocidad
  - b. Neumáticos
    - i. Modelo: prestaciones en condiciones de suelo mojado, basado en su diseño integral (dimensiones, materiales y diseño).
    - ii. Estado de conservación: desgaste, daños y presión de aire.
  - c. Tecnología: sistemas de seguridad activa para el control de la estabilidad.
  - d. Peso bruto.
2. Características del entorno asociadas a la acumulación de una capa de agua:
  - a. Estado de conservación de la calzada: Deformación transversal (ahuellamiento), macro y micro textura.
  - b. Meteorología: precipitaciones y evacuación de agua de la calzada.
  - c. Tránsito.
3. Características particulares del suceso: Individualidad del hecho.

### **Descripción de las variables asociadas al vehículo**

La velocidad del vehículo tiene el efecto físico directo de empujar el agua hacia la base de contacto de la cubierta con el suelo. A mayor velocidad del vehículo, la rueda gira más rápidamente y, por lo tanto, el agua arrastrada en su parte delantera tiene menos tiempo para ser desalojada. En el mismo sentido, la fuerza ejercida por la rueda es mayor porque la resistencia del agua se incrementa. No pudo estimarse la velocidad previa al impacto (Anexo 3)

Los neumáticos cumplen la función de mantener al vehículo en contacto con el suelo. En condiciones de calzada húmeda, por lluvia o por retención de agua, el diseño íntegro del neumático tiene gran relevancia porque es el encargado de desalojar el fluido para mantener el contacto con la calzada y, así, mantener la estabilidad del vehículo. En este caso, los neumáticos correspondían a la marca Continental, modelo *Conti SPORT Contact 5 235/45 R18 98Y Extra load*, cuarta generación de la familia de neumáticos UUHP (rendimiento ultra-ultra alto). En particular, se le realizaron diversas pruebas a pedido de Ford, incluyendo condiciones de suelo húmedo, donde resultaron todas satisfactorias y dentro de los valores más altos respecto de otros modelos de otras marcas (AutoSport, 2017; Autoklub ČR, 2016; GTÜ, 2016; Autoexpress, 2015).

El estado de los neumáticos fue relevado por el equipo de investigadores de la JST y resultaron estar en condiciones óptimas, sin defectos visibles y con profundidad de huella correcta en todas las mediciones realizadas (en promedio 7 mm). Durante el relevamiento no se pudo medir la presión de los neumáticos. Si bien el vehículo cuenta con algunos sensores para determinar el estado individual de las ruedas, en esta investigación no se lograron obtener los datos de los registradores de información.

La tecnología de los vehículos en los últimos años ha aportado sistemas de seguridad activa que mejoran sustancialmente el comportamiento en situaciones de posibles pérdidas de control, acordes con el diseño del fabricante. El Ford Mondeo Vignale Hybrid cuenta con un sistema de seguridad activa de control de estabilidad que opera sobre los frenos de las cuatro ruedas independientemente para mejorar la estabilidad del vehículo en general (sistema de freno antibloqueo). Esto es relevante en condiciones donde la capacidad de adherencia de cada una de las ruedas es diferente. Sin embargo, en el manual de usuario del vehículo indica que estos sistemas pueden ser desactivados e incluso que “el sistema de frenos antibloqueo no elimina el riesgo si su vehículo se desliza sobre la superficie” (Manual de usuario Ford Mondeo, 2018). En esta investigación no se obtuvo información oficial sobre el comportamiento del vehículo en condiciones de suelo húmedo. Si bien la fábrica informó que al modelo se le realizaron pruebas en estas condiciones, no se consiguieron sus resultados.



Los modelos físico-matemáticos señalados anteriormente indican que la posibilidad de hidroplaneo disminuye con el aumento del peso bruto, es decir, que la posibilidad de llevar mayor carga mejoraría las condiciones de estabilidad. El manual de Ford Mondeo (2018) informa que el peso bruto, el peso neto más una carga estipulada, se encuentra registrado en una placa que se ubicaba sobre el zócalo de la puerta delantera derecha; en este caso, era de 2250 kg. Al momento del suceso, la carga era posiblemente un poco inferior ya que el conductor era el único ocupante y contaba con sus pertenencias, sin ningún tipo de carga adicional de relevancia.

### **Descripción de las variables del entorno asociadas a la retención de una capa de agua**

La magnitud de la capa de agua sobre la calzada es un parámetro fundamental y su exceso dificulta la posibilidad de ser desalojada del área de contacto de las ruedas. En una calzada de este tipo, existen factores que pueden aumentar o disminuir su magnitud. Entre los primeros están las características de las precipitaciones y el estado de conservación de la calzada, mientras que en los segundos se encuentran la capacidad de drenaje propio de la calzada, la evaporación y el tránsito posterior al cese de la lluvia.

En esta investigación no se logró reunir información sobre el estado de la microtextura y macrotextura de la calzada, que pudieran ser comparadas con los pliegos y normativas. Sin embargo, cuando se realizó el relevamiento, se observó que esta calzada presentaba deformación transversal que afecta los valores de macrotextura y a su vez desgaste en la superficie de rodadura, teniendo un aspecto liso que afecta los valores de microtextura, reduciendo la resistencia al deslizamiento. Además, en las imágenes de los primeros relevamientos del suceso se pueden observar charcos de agua aislados en la calzada sobre los ahuellamientos mencionados.

En cuanto a las precipitaciones en esa zona, el informe del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020) indica lo siguiente:

[...] En horas precedentes al siniestro se observaron tormentas con precipitaciones de variada intensidad en la zona de interés. Las

estimaciones de precipitación satelital muestran valores superiores a 15 mm (IMERG LR) y 25 mm (GSMap Gauge) en las 6 horas previas al siniestro lo que infiere la posible ocurrencia de suelos anegados. Asimismo, la precipitación horaria obtenida para estas mismas dos estimaciones muestra valores máximos superiores a 10 mm alrededor de las 17 h en tanto que en horas del siniestro disminuyen a valores cercanos a 1 mm, consistente con lo que muestran las imágenes de radar. Entre las 19:30 y las 21:30 h del 23 de abril, sobre el lugar del siniestro se observan ecos de precipitación débil e intermitente” (p.5).

### **Análisis de las variables con los datos obtenidos**

A continuación, se describen las variables correspondientes a la hipótesis de hidroplaneo clasificadas como: a) contribuyentes, b) relativamente neutrales c) no contribuyentes.

(a) Primero, el estado de la macrotextura observada y el ahuellamiento relevado por la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) son factores contribuyentes por la capacidad de retención de agua en la calzada. Acorde al análisis descrito en esta investigación, el estado del ahuellamiento en dicho tramo correspondía a una severidad media (AASHTO, 2003).

(b) Por otro lado, existieron condiciones que en este análisis resultan relativamente neutrales a dicho efecto:

- El vehículo contaba con sistemas de control de estabilidad. Se desconoce si este sistema estaba activado y si reaccionaría ante un efecto de hidroplaneo.
- El peso bruto al momento del suceso resultó acorde con lo indicado en el manual, sin carga adicional.
- Los registros de precipitación indican que había cesado aproximadamente 3 horas antes del hecho y que luego hubo probabilidades de ecos de lluvia intermitentes que sumarían 1 mm hasta el momento del suceso. Dada la alta humedad y el momento del día, la evaporación del agua presente en la calzada pudo haber sido mínima y despreciable.

(c) Por último, existieron condiciones que disminuyeron la probabilidad de ocurrencia de esta hipótesis:

- Los neumáticos correspondían a un modelo de última tecnología con buenas características de adherencia en condiciones húmedas. Estos eran prácticamente nuevos y con poco desgaste y no se evidenció una presión de inflado incorrecta.
- Luego de la precipitación principal que cesó 3 horas antes del suceso, el agua alojada pudo haber disminuido por el drenaje propio de la calzada y por el tránsito que circuló por ese tramo, reduciendo así la capa de agua.
- Si bien físicamente es probable que el hidroplaneo ocurra puntualmente en una rueda, la pérdida de la estabilidad del vehículo requiere que varias ruedas entren simultáneamente en el fenómeno durante un tramo en el cual este cambie su dirección perdiendo la estabilidad. El hecho de que las primeras imágenes registradas muestren charcos de agua aislados y principalmente sobre las huellas son un indicio de que la película de agua era discontinua al momento del suceso.

## Conclusión

Sobre la base del análisis de los datos obtenidos se determinó que la hipótesis de hidroplaneo no es un factor desencadenante probable de la pérdida de control del vehículo.

### 9.4.1. Referencias bibliográficas

Navin, F., (1995). *Hydroplaning and accident reconstruction*, N.º 950138, SAE Technical Paper.

Gallaway, B. M., et. al., (1979). "Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning," Federal Highway Administration, Report No. FHWARD-79-31.

Ivey et. al. (1975). "Rainfall and Visibility – The View From Behind the Wheel", Research Report 135-3, Texas Transport Institute, College Station, Tex.

NCHRP (1998). Web Document 16 Improved Surface Drainage of Pavements: Final Report TRB.

Servicio Meteorológico Nacional, (2020). Expediente CIM N.º 185.527

AutoSport, Alemania, (2017). Prueba de neumáticos de verano, 225/40 R18, Recuperado en: <https://www.thetirelab.com/sportauto/summer/2017/225-40-r18/>

Autoklub ČR, República Checa (2016). Prueba de neumáticos de verano 225/45 R17. Recuperado en: <https://www.thetirelab.com/adac/summer/2016/225-45-r17/>

GTÜ, Alemania (2016) - Prueba de neumáticos de verano -225/45 R17 Recuperado en: <https://www.thetirelab.com/gtu/summer/2016/225-45-r17/>

Autoexpress, Inglaterra (2015) - Prueba de neumáticos de verano - 225/45 R17. Recuperado en: <https://www.thetirelab.com/autoexpress/summer/2015/225-45-r17/>

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](https://www.ford.com.ar/content/dam/Ford/websiteassets/latam/ar/nameplate/mondeo_vignale_hibrido/pdf/far-mondeo-vignale-hibrido-manual-propietario.pdf)