

JST | SEGURIDAD EN EL TRANSPORTE



INFORME DE SEGURIDAD OPERACIONAL DE SUCESO AUTOMOTOR

Expediente: EX-2021-56989953-APN-JST#MTR

Suceso: accidente

Título: 29. ISO. Cargas. Despeñamiento. Cuesta de Lipán. Jujuy

Fecha y hora: 22/6/2021 7:30 (UTC-3)

Lugar: Ruta Nacional 52, kilómetro 30,6

Vehículos: un camión con semirremolque

Resultados: una persona fallecida

Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores

*primero
la gente*



Ministerio de Transporte
Argentina



Junta de Seguridad en el Transporte

Florida 361

Argentina, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1005AAG

(54+11) 4382-8890/91

www.argentina.gob.ar/jst

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: 29. ISO. Cargas. Despeñamiento. Cuesta de Lipán. Jujuy. Fuente: Junta de Seguridad en el Transporte, 2023.

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



CONTENIDO

RESUMEN	1
1. NOTA INTRODUCTORIA	2
1.1. PRESENTACIÓN DE LA JST	2
1.2. PREMISAS DEL MODELO SISTÉMICO.....	2
1.3. ACCIONES DESARROLLADAS	4
2. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS	4
2.1. RESEÑA DEL SUCESO	4
2.2. RESULTADOS DEL ACCIDENTE	6
2.2.1. LESIONES A LAS PERSONAS.....	6
2.2.2. DAÑOS EN EL VEHÍCULO INVOLUCRADO	6
2.2.3. DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA Y AL AMBIENTE	7
2.3. ASPECTOS RELATIVOS A LA ASISTENCIA POSACCIDENTE	9
2.3.1. TAREAS DE REMEDIACIÓN EN LA VÍA Y EN EL ENTORNO.....	10
2.4. ASPECTOS DE LA INFRAESTRUCTURA Y DEL ENTORNO, VEHÍCULOS Y OPERADORES DE PRIMERA LÍNEA	11
2.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA Y DEL ENTORNO	11
2.4.2. ASPECTOS DEL VEHÍCULO INVOLUCRADO	23
2.4.3. CONDICIONES Y ACCIONES DEL OPERADOR DE PRIMERA LÍNEA	25
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA OPERADORA DEL SERVICIO.....	26
2.5.1. ESTRUCTURA DE LA ORGANIZACIÓN	26
2.5.2. GESTIÓN INTERNA DE LA SEGURIDAD OPERACIONAL	27



2.6. FACTORES EXTERNOS A LA ORGANIZACIÓN (GUBERNAMENTALES, REGULATORIOS Y SOCIALES)	29
2.6.1. ASPECTOS RELATIVOS AL DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE LA VÍA.....	29
2.6.2. ASPECTOS RELATIVOS AL CONTROL Y FISCALIZACIÓN.....	30
3. ANÁLISIS DE DATOS	30
3.1. FACTORES DESENCADENANTES	31
3.2. CONDICIONES LATENTES	31
3.2.1. DISEÑO INADECUADO DEL SISTEMA DE CONTENCIÓN LATERAL	31
3.2.2. SEÑALIZACIÓN INADECUADA	32
3.2.3. NORMAS DE DISEÑO VIAL AMBIGUAS	34
4. HALLAZGOS	35
4.1. HALLAZGOS VINCULADOS A FACTORES RELACIONADOS CON EL ACCIDENTE	35
4.2. HALLAZGOS VINCULADOS A OTROS FACTORES DE RIESGO RELEVANTES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES	36
5. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL	37
6. ACCIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL.....	38
7. LIMITACIONES	38
8. FUENTES DE INFORMACIÓN	39
8.1. ENTREVISTAS	39
8.2. INFORMES RECIBIDOS.....	39
8.3. PÁGINAS WEB.....	39
8.4. VISITAS AL LUGAR DEL ACCIDENTE	39
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39



10. ANEXOS.....	41
10.1. DINÁMICA DEL SUCESO	41
10.2. NORMATIVA SOBRE VELOCIDAD DE DISEÑO DE LA CURVA	46
10.3. RELEVAMIENTOS REALIZADOS EN EL LUGAR DEL SUCESO	47
10.4. CÁLCULO DEL RADIO DE LA CURVA DEL LUGAR DEL SUCESO.....	48
10.5. CÁLCULO DE VELOCIDADES CRÍTICAS EN LA CURVA DEL SUCESO	50
10.6. FICHA TÉCNICA DE NITRATO DE AMONIO	54

RESUMEN

En este informe se detallan los hechos y circunstancias en torno al accidente que involucró a un camión con semirremolque, dominios KVQ727 y KVQ343 respectivamente, que se encontraba realizando una operación de transporte de mercancías peligrosas el día 22 de junio de 2021 en la Ruta Nacional 52 (RN 52), a la altura del kilómetro 30,6, donde se ubica la cuesta de Lipán, un tramo zigzagueante y empinado de la mencionada vía. Aproximadamente a las 7:30¹, el vehículo ingresó en una curva cerrada a una velocidad mayor a la del diseño de la curva, maniobra que derivó en el despiste, vuelco y despeñamiento de la unidad por la pronunciada ladera de montaña.

El informe presenta un análisis de aspectos de seguridad operacional relacionados con los procesos de selección, inducción y entrenamiento de conductores, monitoreo de flotas, estado de la infraestructura vial y velocidad máxima permitida en el tramo de referencia. Finalmente, se incluyen 5 recomendaciones de seguridad operacional dirigidas a la Dirección Nacional de Vialidad y 1 acción de seguridad operacional para la empresa transportista.

¹ Horario estimado a partir del horario de fallecimiento del conductor, según consta en el expediente judicial.

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. Acciones desarrolladas

A continuación, se describen las acciones desarrolladas durante el proceso de investigación, su descripción y período (Tabla 1).

Tabla 1. Acciones desarrolladas durante el proceso de investigación

Tipo	Detalle	Período
Relevamiento de campo	Asistencia al lugar del suceso, fotografías de la vía y el entorno. Confección de plano con los indicios de interés accidentalógico relevados y de las características del tramo. Contacto con Comisaría interviniente (acceso a actas). Relevamiento del entorno.	junio de 2021
Solicitud de datos	Fiscalía penal de Tilcara CNRT ANSV CNTySV Empresa de transporte Transgol SRL DNV DPV de Jujuy SMN DNTAC Ministerio de Ambiente de Jujuy	junio de 2021 a junio de 2022
Entrevista	Personal ejecutivo de la empresa Transgol SRL	abril de 2022
Relevamiento	Relevamiento de infraestructura y señalización	agosto de 2022

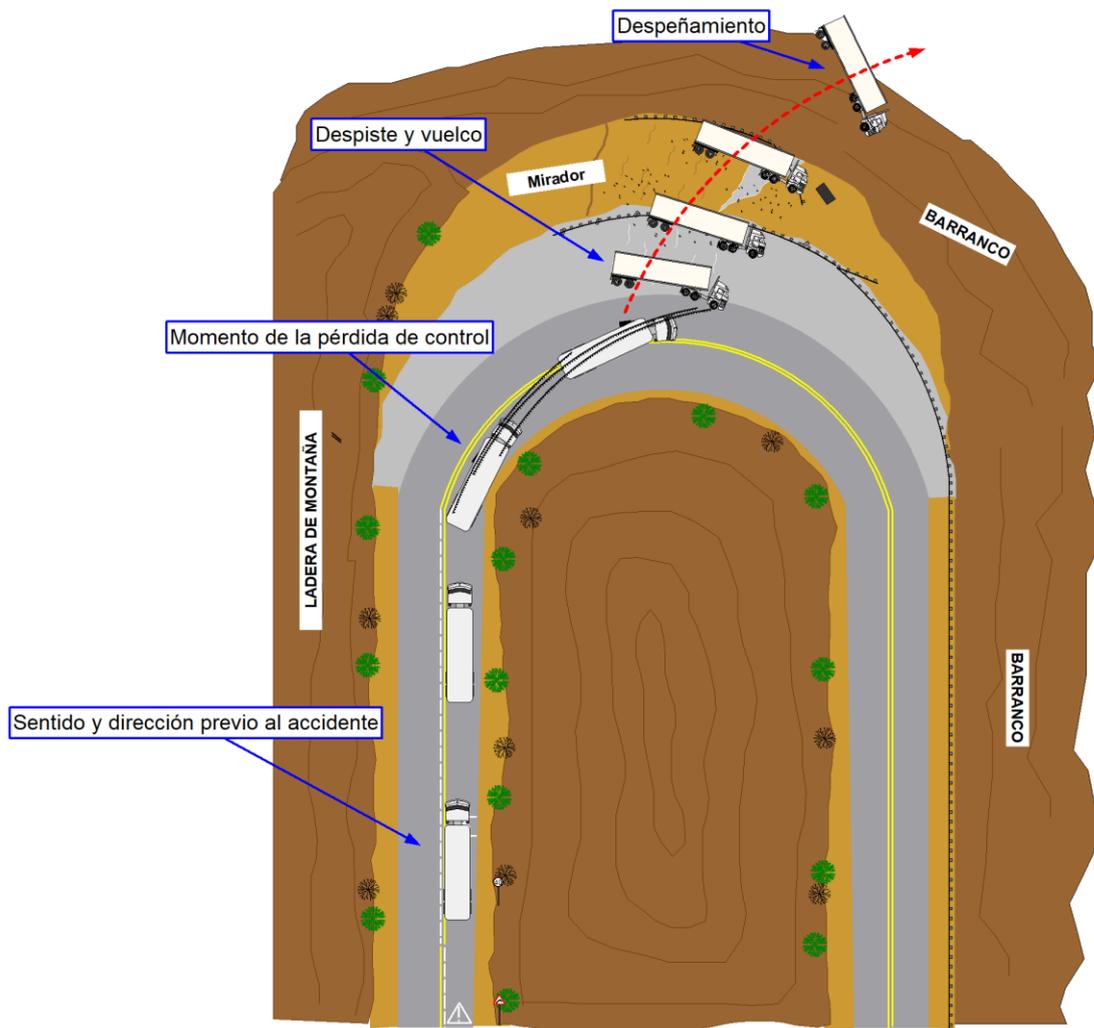
2. INFORMACIÓN SOBRE LOS HECHOS

2.1. Reseña del Suceso

El 22 de junio de 2021 el camión Renault Premium 440 DXI con semirremolque, perteneciente a la empresa Transgol, circulaba desde la República de Chile transportando nitrato de amonio (ver información técnica en el Anexo 4) por la RN 52, con sentido hacia la localidad de Purmamarca, provincia de Jujuy. Al encontrarse a la altura del kilómetro 30,6, dentro del tramo denominado cuesta de Lipán, en el departamento de Tumbaya, su conductor intentó tomar una curva cerrada y perdió el

dominio de su unidad. Como consecuencia, la unidad despistó², cruzó hacia la mano de circulación contraria, volcó en tonel sobre la zona del mirador, chocó con las barreras de contención y finalmente cayó sobre ladera empinada. El vehículo y su ocupante fueron arrastrados hacia un acantilado de aproximadamente 50 m de profundidad desde el nivel del camino³.

Figura 1. Representación gráfica de la secuencia del suceso



Nota: Plano en vista superior de la secuencia de despiste y vuelco del vehículo. Fuente: JST, 2022

² Despiste: salida involuntaria de la calzada o trayectoria normal. Glosario de términos y definiciones relativas a la seguridad vial, DNOV, 2021.

³ Información extraída de Expediente H-1660-MPA de la fiscalía interviniente.

2.2. Resultados del accidente

A continuación, se detallan los datos relacionados con los daños resultantes del accidente, los cuales incluyen a las personas, vehículos, ambiente e infraestructura vial.

2.2.1. Lesiones a las personas

El conductor, única persona a bordo, falleció en forma inmediata a causa de los politraumatismos graves que sufrió durante la caída del vehículo por el acantilado. Según el acta de defunción, la causa del fallecimiento fue traumatismo craneal.

2.2.2. Daños en el vehículo involucrado

La imposibilidad de acceder al vehículo por su posición final impidió realizar un relevamiento detallado de los daños. En las fotografías tomadas por los bomberos que intervinieron en el rescate del cuerpo del conductor, publicadas en los medios de prensa, se observó que el chasis de la unidad tractora se separó completamente de la cabina del conductor. Esta última presentaba daños en toda su estructura, producto de los múltiples impactos durante la caída. También se observó el desprendimiento de las barandas volcables de la caja del semirremolque, el cual se separó del camión tractor.

Figura 2. Posición final de vehículo involucrado



Nota: Imagen compuesta por tres fotografías del vehículo en su posición final, cada una con distinto nivel de detalle. Se observan en primer plano elementos de trabajo de bomberos delante de la cabina destruida, a su izquierda, restos de la carga transportada dispersa sobre el suelo y detrás se observa parte del semirremolque. Fuente. [El Tribuno](#), 2021

2.2.3. Daños a la infraestructura y al ambiente

Los principales daños relevados en la infraestructura se asocian a la barrera metálica de contención tipo *flex beam* que, previo al accidente, se encontraba emplazada en el margen externo de la curva, sobre el borde de la banquina asfaltada, anclada al piso con cinco postes. Producto del impacto del camión, un segmento de la barrera fue desprendido y arrancado de sus puntos de sujeción, los que se encontraron deformados al momento del relevamiento de la JST. En consecuencia, la barrera fue arrastrada y cayó por la ladera junto con el vehículo.

Sobre el mismo mirador, junto a la barrera mencionada, se encontraba una mesa de información e interpretación. En el momento en que la barrera fue arrastrada por el camión hacia el acantilado, esta impactó contra la mesa, produciendo una inclinación en su estructura.

Figura 3. Sector del guardarraíl desprendido con los cinco postes que lo sostenían torcidos por el impacto junto a la mesa de información



Nota: Fotografía de la zona de banquina tomada desde la calzada, donde se ubican los postes que sostenían la barrera de contención metálica desprendida. Fuente: JST, 2021

Figura 4. Extremo de la barrera deformado por el impacto



Nota: Fotografía del extremo de la barrera tomada desde la banquina. Fuente: JST, 2021

Figura 5. Fotografía de la carga derramada



Nota: Fotografía de la carga de nitrato de amonio derramada sobre el mirador, en el borde del acantilado. Fuente. JST, 2021

2.3. Aspectos relativos a la asistencia posaccidente

A continuación, se reconstruye temporalmente cómo fue la respuesta de los servicios de emergencia y asistencia posaccidente en el suceso.

El camión fue divisado a las 8:05 aproximadamente por un testigo que circulaba en su vehículo por la RN 52, quien informó a la Comisaría Seccional 57. La empresa de transporte tomó conocimiento del accidente aproximadamente a las 10:00, luego de unas tres horas del cese de reportes del sistema de monitoreo satelital, según informó la propia empresa. Luego de ello, personal de higiene y seguridad de la empresa acudió al lugar del accidente en un vehículo de auxilio.

La identidad del conductor del camión y el contenido de la carga que transportaba fueron informados por la empresa Transgol SRL a la policía a las 14:00. A las 15:00 se confirmó el fallecimiento del conductor y se procedió a tareas de rescate y traslado del cuerpo, a cargo de personal de la División Búsqueda y Rescate de Bomberos de

la policía de Jujuy, en colaboración con Bomberos de la Unidad Regional 3 y Bomberos Voluntarios de la localidad de Volcán. Se hizo presente también personal de Criminalística de la Policía a los fines de realizar la inspección ocular y técnica del lugar. A las 21:00 aproximadamente finalizaron las tareas de rescate.

Por último, los restos del camión fueron recuperados por la empresa a través de grúas especiales en el transcurso de las tres semanas posteriores al accidente.

2.3.1. Tareas de remediación en la vía y en el entorno

Las tareas de reparación de la infraestructura fueron llevadas a cabo por la Dirección Nacional de Vialidad y consistieron en la sustracción de los restos de la barrera y la mesa de información dañadas por el camión. La barrera no fue reemplazada ni repuesta, en consecuencia, la curva no contaba al momento del último relevamiento (22/8/2022) con ningún tipo de contención.

La carga transportada en el semirremolque de la unidad, nitrato de amonio, fue derramada sobre la zona del mirador de la curva y sobre la quebrada. La carga esparcida fue considerada como irrecuperable por parte de la empresa, debido a las condiciones geográficas del lugar, al tratarse de un terreno irregular y peligroso. La sustancia fue informada por la empresa al Ministerio de Ambiente como no contaminante, dado que puede lavarse con agua y solo se considera peligrosa por el riesgo de explosión al entrar en contacto con combustible. A partir de la propuesta de intervención para el saneamiento elaborada por Transgol SRL, la Secretaría de Ambiente autorizó y recomendó retirar restos de combustible y lubricantes derramados por posible riesgo de incendio en combinación con el fertilizante nitrogenado derramado. Por su parte, el personal entrevistado de la empresa informó que se realizaron todas las tareas de remediación de suelo, por el derrame de fertilizante, y remoción del vehículo y restos de combustible recomendados por la Secretaría.

2.4. Aspectos de la infraestructura y del entorno, vehículos y operadores de primera línea

Los factores que se describen a continuación componen las condiciones físicas del entorno, vehículos y actores al momento de ocurrencia del accidente.

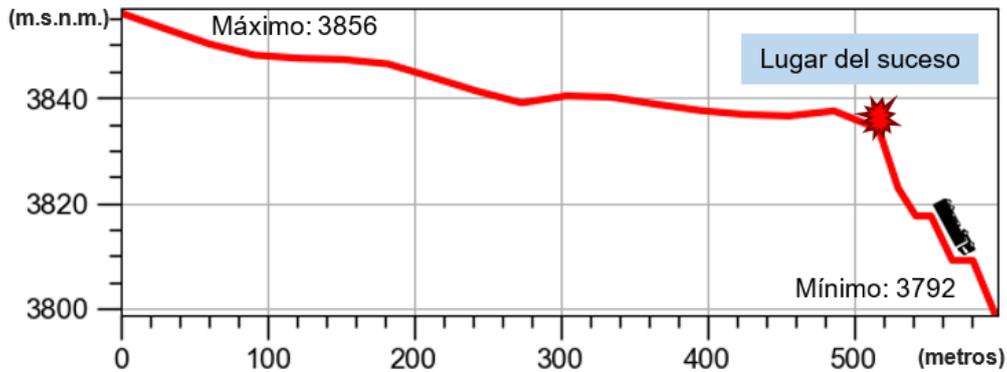
2.4.1. Características de la vía y del entorno

El suceso ocurrió en una zona rural del departamento de Tumbaya, provincia de Jujuy, en el kilómetro 30,6 de la RN 52, en la tercera curva de un camino sinuoso —según el sentido de circulación del vehículo— dentro de la denominada cuesta de Lipán, en las coordenadas geográficas: -23,68036, -65,62792 (Figura 7).

Desde Salinas Grandes, localidad ubicada a 3450 m s.n.m., la cuesta se eleva hasta alcanzar los 4170 m s.n.m. en el abra de los Potrerillos, para luego descender de oeste a este hasta los límites de la localidad de Purmamarca a 2192 m s.n.m. Los conductores descienden, desde su punto máximo de altura, casi 2000 metros por un camino sinuoso de unos 36 km de longitud, es decir, unos 55 metros por kilómetro, compuesto por una serie de curvas cerradas de pendiente pronunciada. La cuesta constituye el principal medio para acceder al Paso de Jama desde la localidad de Purmamarca, erigiéndose como el único cruce del eje completamente asfaltado y transitable durante todo el año.

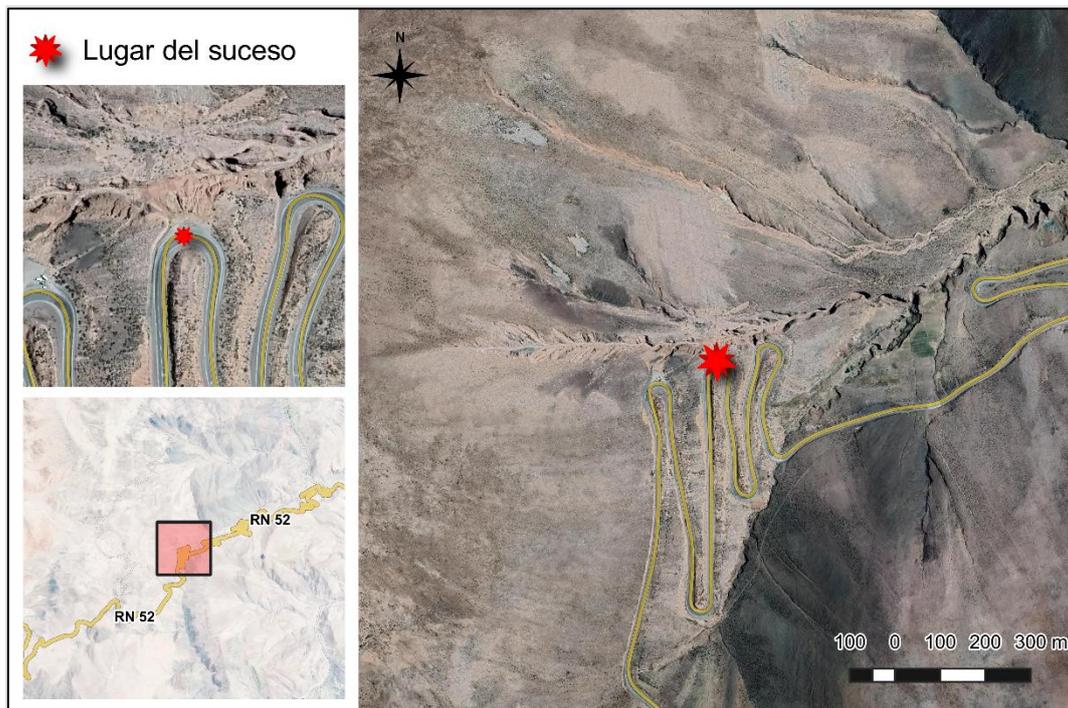
Tomando el tramo compuesto por la recta que inicia en la culminación de la curva anterior hasta la curva donde ocurrió el accidente, la medición del perfil topográfico del tramo muestra que el camión circulaba previamente en forma descendente por una recta de aproximadamente 507 metros, yendo desde la cota 3856 hasta los 3834, lo que da un descenso total de 22 metros. La pendiente promedio en la recta previa a la curva del suceso es de 4,3 %, y se torna más pronunciada en la entrada a la misma, con un aproximado del 5,2 %, y llega a una inclinación superior al 40 % en el acantilado.

Figura 6. Perfil topográfico del tramo final recorrido por el vehículo



Nota: Gráfico del perfil topográfico del tramo final recorrido, medido en metros sobre el nivel del mar, que inicia con una altura máxima de 3856 y una mínima de 3792. Se observa una pendiente muy pronunciada que representa el acantilado donde cayó el vehículo, próxima al lugar del suceso, señalado en el gráfico, donde también se observa la posición final del vehículo. Fuente. JST, 2022

Figura 7. Localización geográfica del suceso



Nota: Imagen satelital del lugar del suceso, marcado con una estrella roja. Fuente. JST, 2022

En cuanto al tramo de la vía, el relevamiento realizado por la JST se comprende entre las progresivas kilométricas 30,5 y 31,2. En esta sección, la vía tiene una configuración

de calzada única con dos carriles sin separación física, uno por cada sentido de circulación, con pavimento de tipo asfáltico. Cuenta con banquetas de ripio a los dos lados de la calzada.

A continuación, se describen las condiciones de la infraestructura vial.

Tabla 2. Características de la infraestructura vial

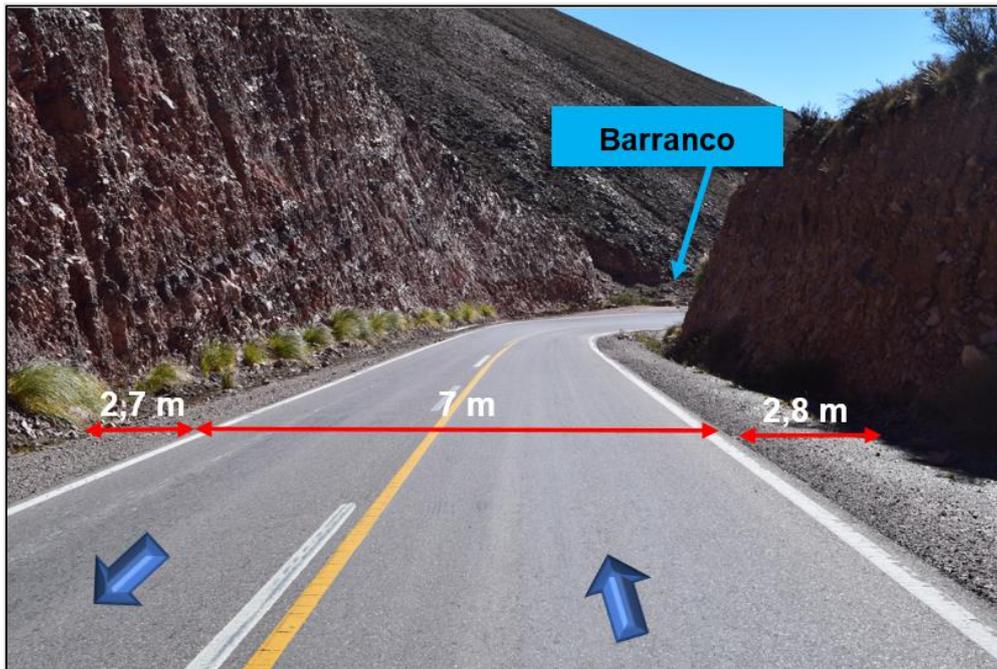
Tipo de vía	Ruta
Geometría del tramo	Curva cerrada con rasante vertical negativa
Configuración	1 calzada con dos sentidos de circulación
Cantidad de carriles	2 carriles, 1 por sentido de circulación
Ancho de calzada del tramo recto	7 metros
Ancho de calzada del tramo curvo	8,7 metros
Radio de la curva (carril interno)	25,94 metros
Calzada pavimentada	Sí
Tipo de pavimento	Asfáltico
Banquetas del tramo recto	Sí
Material de las banquetas	Ripio y tierra
Ancho máximo de las banquetas	Oeste: 2,70 metros – Este: 2,80 metros
Banquina externa de la curva	Material: asfalto - Ancho máximo: 8,3 metros
Zona de costado externo de la curva (mirador)	Material: tierra - Ancho máximo: 8,8 metros
Iluminación artificial	No
Señalización horizontal	Sí
Señalización vertical	Sí
Otro tipo de señalización	No

Observaciones sobre el estado de la infraestructura vial

En el tramo recto previo a la curva del despiste, la calzada se encontraba sin baches, fisuras, grietas, hundimientos u otras fallas. Hacia los laterales de este tramo se constató la existencia de banquetas conformadas por tierra y ripio. Una gran parte de

las banquetas se estiman intransitables debido a piedras de tamaño mediano y grande, producto de los desprendimientos de la ladera de la montaña (ver Figura 8).

Figura 8. Dimensiones de calzada y banquetas del tramo recto previo por el que transitaba el camión



Nota: Fotografía en sentido desde Susques hacia Purmamarca de la recta previa a la curva donde despistó el vehículo. Fuente: JST, 2021

En la zona externa de la curva del despiste se constató la presencia de un mirador emplazado sobre una extensión de superficie terrosa de un ancho máximo de 8,8 metros que finaliza en el acantilado (ver Figura 9 y 10). Hacia el noreste se observó una mesa de información e interpretación sobre la cuesta de Lipán, instalada por el gobierno de la provincia de Jujuy (ver Figura 11). En esta zona la banquina exterior se encontraba formada de asfalto y era más ancha que en las rectas relevadas, contando con 8,9 m en el punto de mayor curvatura del tramo.

Figura 9. Dimensiones de calzada y banquetas del tramo curvo donde se produce el despiste



Nota: Fotografía en sentido desde Susques hacia Purmamarca de la curva donde despistó el vehículo. Se observan marcas de derrape sobre calzada. Fuente: JST, 2021

Figura 10. Dimensiones de banquina asfaltada y zona de mirador en la curva del despiste



Nota: Fotografía desde arriba de la curva, banquina y mirador donde despistó el vehículo. Se adicionaron medidas de calzada, banquina y mirador. Fuente: JST, 2021

Figura 11. Zona del mirador con la mesa de información



Nota: Fotografía del mirador y refugio de la mesa de información tomada desde la banquina. Fuente: JST, 2021

La calzada del tramo curvo no presentaba fallas, a excepción del borde interior, donde se observó el desprendimiento de material de asfalto que abarcaba la línea blanca de borde (ver Figura 12). Se constató un peralte máximo de 8,7% medido en el centro de la curva y una pendiente longitudinal de 5,2% en el tramo recto previo al ingreso de la curva. Estos resultados se calcularon tomando como base los valores en ángulos obtenidos de las mediciones con inclinómetro digital.

Figura 12. Desprendimiento de material de la calzada en el sector interno de la curva



Nota: Fotografía en sentido desde Purmamarca hacia Susques del sector interno de la curva donde se observa desprendimiento de material de calzada. Fuente: JST, 2021

Barrera de contención

La barrera de contención instalada en el mirador ubicado en la curva horizontal donde ocurrió el suceso es una barrera metálica con un diseño según el plano tipo Defensa Metálica H-10237 (DNV) con separación de poste de 3,50 metros aproximadamente y alturas de postes no mayor a 70 cm. Se instala como método de protección de los vehículos errantes hacia el acantilado ubicado posterior a esta, vale destacar que este modelo de barrera no tiene ensayo de certificación, por lo cual se desconoce su nivel de prueba, aunque se asemeja a modelos con niveles de prueba TL-2.

Velocidad de diseño de la curva

A partir de las características de la curva (radio, peralte y coeficiente de fricción) y tipo de topografía montañosa, la normativa de diseño (DNV, 1980) establece para una curva de radio mínimo deseable de 40 metros (o radio mínimo absoluto de 25 metros) una velocidad directriz de 30 km/h (planilla n.º 1 de características de diseño geométrico de caminos rurales) (Ver Anexo 2). Asimismo, en el gráfico II-4, para un peralte de 8,7 % y un radio de 25,94 m, como es el caso de la curva en la que ocurrió el suceso, se establece que la velocidad directriz sería de 30 km/h. El proyecto de actualización de esta normativa (DNV, 2010) reconfirma estos valores (ver Anexo 2).

Observaciones sobre la señalización

La normativa aplicada a la señalización de caminos fue elaborada por la DNV. Por un lado, se encuentran las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (1980) vigentes en la actualidad, así como los manuales actualizados para señalización horizontal y vertical (DNV, 2013) y para diseño de vías (DNV, 2017). Allí se especifican tipos de señales y distancias que deben tener entre sí, de acuerdo con distintos parámetros dados por el tipo de vía y las velocidades de circulación. A continuación, se describen los hallazgos del relevamiento de la señalización horizontal y vertical en el lugar del suceso.

Figura 13. Plano de la señalización del tramo de ruta relevado



Nota: Plano del tramo relevado, donde se aprecian la señalización horizontal y vertical existentes, con cotas de distancia y separación. Fuente: JST, 2022

El tramo tiene una longitud total de 667,5 m y está compuesto por la Curva 1, previa a la curva del suceso, un tramo recto de 506,9 m y la Curva 2, donde ocurrió la pérdida

de control del vehículo. La señalización horizontal y vertical relevada se divide en dos tipos y algunos aspectos clave son:

- Señalización horizontal: incluye a aquella que se demarca sobre la calzada. A lo largo de todo el tramo se encontró señalización longitudinal, así como dos leyendas sobre el carril descendente, por el que circulaba el vehículo. Estas últimas presentaban signos de mayor desgaste que las longitudinales, resultando menos visibles. A continuación, se presenta la señalización relevada.
 - La señalización longitudinal se extiende a lo largo de todo el tramo, tanto las líneas de borde como las líneas centrales. En toda su extensión la demarcación se encuentra en forma clara, con pocos signos de desgaste. En la zona de la Curva 2, presenta algunos signos de mayor desgaste.
 - La señalización de Símbolos y leyendas sirve como guía positiva y como refuerzo de la señalización vertical para advertir sobre peligros. Los símbolos encontrados en el tramo presentan mayores signos de desgaste que la señalización longitudinal. También se encontraron algunas diferencias respecto de las sugerencias dadas por el Manual de Seguridad Vial (DNV, 2017) (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Relevamiento de señalización horizontal de tipo Símbolos y leyendas

Tramo	Símbolo	Distancia a la Curva 2 (metros)	Observaciones
Recta	Atención 	200	De acuerdo con la normativa (DNV, 2017)
Recta	Curva cerrada a la derecha 	100	Difiere con la normativa (distancia sugerida es 150 m) (DNV, 2017)
Curva	Curva cerrada a la derecha (sobre inicio de curva) 	Ausente	Difiere con la normativa (repetir señal al inicio de la curva) (DNV, 2017)

Figura 14. Señalización horizontal presente en zona previa al lugar del suceso



Nota: Fotografías de la señalización horizontal en sentido desde Susques hacia Purmamarca en la recta previa a la curva del despiste. A la izquierda, señal de advertencia de peligro y a la derecha señal de advertencia de curva cerrada. Fuente: JST, 2021

- **Señalización vertical:** Se encontraron 3 señales verticales a lo largo del tramo, una informativa, una de velocidad y una de alerta.
 - La señalización presente cumple con aspectos básicos sobre conservación y distancias. Sin embargo, se encontraron dos aspectos relevantes a considerar. En primer lugar, la presencia de vegetación que obstruye la visibilidad de la señal de curva peligrosa y la falta de adecuación de la velocidad máxima indicada en relación con la curva. Sobre este punto, se destaca que la señalización indica como velocidad máxima aquella que coincide con la velocidad crítica de la curva⁴, superando en 15 km/h aproximadamente la velocidad de diseño.
 - Siguiendo el Manual de Seguridad Vial (DNV, 2017), se encontró la falta de dos señales verticales: velocidad máxima entre 20 km/h y 30 km/h próxima a la curva y chevrones de curva simple sobre la cara externa de la curva.

⁴ Las velocidades críticas son los límites teóricos que determinan el comienzo de la pérdida de estabilidad, ya sea por vuelco o por derrape, de un vehículo determinado. (Ver Anexo 5).

Tabla 3. Relevamiento de señalización vertical

Tramo	Símbolo	Distancia previa a la curva	Observaciones
Recta	Poste kilométrico 	380	Progresiva 31
Recta	Curva cerrada 	250	De acuerdo con la normativa (DNV, 2017) Visión obstruida por vegetación
Recta	Velocidad máxima 40 	150	Difiere parcialmente con la normativa (velocidad en recta es adecuada, pero inadecuada para la curva) (DNV, 1980)
Recta	Velocidad máxima 20 o 30 	Ausente	Difiere con la normativa (velocidad según radio de curva) (DNV, 2017)
Curva	Curva chevrón simple 	Ausente	Difiere con la normativa (falta señalización en curva peligrosa) (DNV, 2017)

Figura 15. Señalización vertical presente en zona previa al lugar del suceso



Nota: Fotografías de la señalización vertical en sentido desde Susques hacia Purmamarca en la recta previa a la curva del despiste. A la izquierda, señal de advertencia de curva cerrada y a la derecha señal de velocidad máxima 40 km/h. Fuente: JST, 2021

En el segundo relevamiento realizado en el tramo de la cuesta de Lipán que comprendió entre los kilómetros 16 y 44, se constató que la barrera de contención lateral de la curva del accidente no fue reparada ni reemplazada, tampoco se incorporó señalización vertical ni horizontal y las banquetas presentaban la misma conformación y ancho, y presentaban material de desprendimientos de la ladera de la montaña.

Observaciones sobre el entorno

El tramo de la recta previa a la curva se encuentra emplazada en desmonte, por lo que la visibilidad hacia ambos lados se encuentra obstruida por las laderas este y oeste. Según el sentido de circulación del vehículo, se observa que, al aproximarse a la curva, hacia a la derecha la visibilidad es obstruida por la ladera e impide advertir a los vehículos que circulan por la curva en el sentido opuesto y tampoco se puede apreciar el radio total de la curva en U. Del lado izquierdo, la visibilidad del entorno se ve reducida debido a que, sobre el inicio de la curva cerrada, la configuración del entorno cambia, ya que la ladera del camino se termina y se mimetiza con las montañas que se encuentran alrededor y alejadas de la ruta, lo que genera una falsa impresión de continuidad entre ellas que impide notar la presencia del acantilado donde cayó el vehículo (ver Figura 16).

Figura 16. Vista del acantilado desde la recta previa a la curva donde se produjo el despiste



Nota: Fotografía tomada en sentido desde Susques hacia Purmamarca donde se observa la mimetización de la ladera de las montañas de la izquierda con el acantilado sobre el costado externo de la curva (marcado con línea intermitente en rojo). Fuente: JST, 2021

Condiciones meteorológicas en el momento del suceso

Con respecto al estado meteorológico, el reporte enviado por el Servicio Meteorológico Nacional indica, según un análisis sinóptico, que las condiciones del tiempo mostraban un cielo algo nublado, con vientos entre leves y moderados predominantemente del sector este, es decir, en sentido perpendicular al de circulación del vehículo. Se estima que no se produjeron precipitaciones, aunque no se descarta la posibilidad de la presencia de neblina en horas previas a las 8:00. La ausencia de radares en la zona imposibilita conocer el estado preciso y real del tiempo en el lugar del accidente.

2.4.2. Aspectos del vehículo involucrado

A continuación, se presenta una tabla con las principales características técnicas del vehículo de carga, vinculadas con la unidad motora (camión tractor) y no motora (semirremolque). Los datos se obtuvieron solo a través de consultas a la CNRT, ya que no fue posible el acceso a la inspección del vehículo.

Tabla 4. Datos del vehículo involucrado

Vehículo 1 (cargas)	Dominio: KVQ727	Tipo: Camión tractor
Categoría	N3: vehículo para transporte de carga con un peso máximo superior a los doce mil kilogramos	
Marca	Renault	
Modelo	Premium 440 DXI	
Año	2012	
Tipo de caja	TPE (Plato de enganche)	
Configuración de ejes	1S-1D	
Revisión Técnica Obligatoria (CENT)	Tipo	Cargas interjurisdiccional
	Emisor	010-091
	Resultado	Apto
	Realizada	3/8/2020
	Vencimiento	3/8/2021
RUTA	Validación	7/10/2020
	Clase de carga habilitada	Carga general
Dominio: KVQ734	Tipo: Semirremolque	
Categoría	O4: remolques cuyo peso máximo es mayor a diez mil kilogramos	
Marca	Randon	
Modelo	SR-CG-02+01	
Año	2012	
Tipo de caja	TCA (Caja abierta)	
Configuración de ejes	1D-2D	
Revisión Técnica Obligatoria (CENT)	Tipo	Cargas interjurisdiccional
	Emisor	120-129
	Resultado	Apto
	Realizada	24/9/2020
	Vencimiento	24/9/2021
RUTA	Validación	7/10/2020
	Clase de carga habilitada	Carga general
Servicio	Ocasión de servicio	Sí
	Carga transportada	Nitrato de amonio
	Origen	Chile
	Destino	Jujuy
Sentido de circulación	Vía	RN 52
	Desde	Susques
	Hacia	Purmamarca

2.4.3. Condiciones y acciones del operador de primera línea

Datos básicos del operador de primera línea y licenciamiento

La Tabla 5 muestra una descripción de los datos básicos del conductor del camión Renault Premium 440 DXI dominio KVQ727 según sexo, edad e información sobre Licencia Nacional de Conducir.

Tabla 5. Datos básicos del conductor que participó en el accidente

Rol del conductor	En conducción efectiva
Sexo	Masculino
Edad	36 años
Nacionalidad	Argentino
Licencias de conducir	LNC clases A, B, C y D Subclases E1, D3, D1 y A13 Expedida por CEL General Güemes, Salta Emisión: 2/6/17 Vencimiento: 27/12/21
LiNTI	-Transporte de cargas generales Emisión: 19/4/21 Vencimiento: 16/4/22 - Transporte de mercancías peligrosas Emisión: 3/5/22 Vencimiento: 30/4/22 - Categoría Transporte de Pasajeros: A2LD Interurbano internacional de larga distancia A2OL Interurbano internacional Oferta libre A2TR Interurbano internacional de turismo Emisión: 16/3/19 Vencimiento: 31/12/22

Al momento del suceso, el conductor contaba con una antigüedad de cuatro años de licenciamiento profesional, y en cuanto a sus habilitaciones de la LiNTI, poseía poco más de dos años de habilitación para pasajeros, dos meses para cargas generales y menos de dos meses para cargas peligrosas.

Datos sobre la jornada de trabajo

La empresa involucrada en el suceso es Transgol SRL según su personal ejecutivo, el conductor formaba parte del personal estable de la organización.

Aunque se ha mantenido contacto con las autoridades de la empresa durante todo el transcurso de la investigación, no se ha podido obtener información sobre la jornada de trabajo los días previos al suceso ni sobre el punto exacto de origen del viaje, lo cual impide analizar una posible hipótesis vinculada con la falta de descanso o apunamiento del conductor. Sin embargo, teniendo en cuenta la distancia entre el Paso de Jama (límite fronterizo con Chile) y el lugar donde ocurrió el suceso, es posible sostener la hipótesis de que el viaje se produjo en condiciones de nocturnidad.

Información toxicológica del operador de primera línea

No se cuenta con información toxicológica del conductor. Según el expediente de la fiscalía interviniente, se realizó la entrega del cuerpo el día 23/6/21 a su concubina y no requirió autopsia. Por este motivo, se descarta cualquier línea de investigación sobre factores vinculados con el estado toxicológico del conductor.

Velocidad de circulación en la curva

Se estimó que la velocidad a la que circulaba el conductor era superior a 40 km/h, a partir del cálculo de la velocidad crítica de la curva (Ver Anexo 5). No se encontraron indicios de frenada en la zona previa al despiste del vehículo.

2.5. Características de la empresa operadora del servicio

La empresa Transgol SA se encuentra inscripta en RUTA desde el 12/11/2013, con certificado A083247, como transportista de carga individual, con la categoría tráficos especiales.

2.5.1. Estructura de la organización

Como se dijo anteriormente, el vehículo involucrado en el suceso pertenece a la empresa denominada Transgol SRL, fundada en 2007, ubicada en la localidad de Monterrico, Jujuy. Es proveedora de servicios de transporte de cargas generales y peligrosas al nivel nacional e internacional. Cuenta con una flota de 71 camiones, donde, según se expresa en la página oficial de la empresa, el 73 % cuenta con

tecnología Euro5. Según expone en su sitio, presta servicios a 35 destinos, y concentra sus operaciones en el norte argentino, entre Jujuy y Mendoza, y con Chile.

Según personal ejecutivo de la empresa, cuentan con una planta propia de 83 conductores, más una planta de entre 5 y 10 conductores suplentes para poder rotar el personal de conducción y de esta forma garantizar los descansos.

2.5.2. Gestión interna de la seguridad operacional

La gestión de la seguridad operacional se realiza mediante contratación externa con una empresa especializada en Higiene y Seguridad. Según lo referido en una entrevista realizada con el personal ejecutivo, la empresa desarrolla acciones de seguridad operacional vinculadas con:

- Criterios de selección de conductores
- Proceso de inducción de conductores
- Jornada de trabajo de conductores con descanso obligatorio entre las 22:00 y las 6:00
- Monitoreo de la flota a través del sistema satelital Michelin Flotas Conectadas

Según personal ejecutivo de la empresa, uno de los requisitos de selección de conductores es un mínimo de experiencia de 5 años en conducción en cordillera, dado que la ruta que utilizan con mayor frecuencia es la RN 52. Según refieren, es una preocupación de la empresa contar con una planta estable de conductores, pero no siempre pueden garantizarlo, ya que se trata de un rubro con altas tasas de empleo informal y rotación del personal por distintas empresas. Además, antes de la contratación se evalúa su grado de experiencia, realizando una “vuelta de reconocimiento”, es decir, una prueba de manejo en cordillera, generalmente en el Paso de Jama o en el Paso Libertadores. Asimismo, se evalúa mediante pruebas teóricas y prácticas el grado de conocimiento técnico sobre el tipo de camión que va a conducir en caso de ser contratado.

Por otro lado, el proceso de inducción es un aspecto relevante para la organización. Para ello, cuentan con personal especializado a cargo de la capacitación en manejo

defensivo, conducción en cordillera y procedimientos de carga y descarga. Además, cuentan con un conductor “replicador”, el cual acompaña a conductores recientemente incorporados en los 3 o 4 primeros viajes, para enseñar particularidades de los caminos y el uso de la tecnología de los vehículos. Según lo informado por directivos de la empresa, el proceso de inducción les permite evaluar errores y realizar reentrenamientos a los conductores a fin de mejorar su performance.

Las jornadas de trabajo del personal de conducción se programan, según lo referido por la empresa, respetando el horario de descanso entre las 22:00 y las 6:00, de modo tal que el recorrido se realice principalmente en horario diurno. Además, según el personal directivo, la diagramación de los viajes se realiza previendo paradas intermedias previo a la subida de la cuesta de Lipán para prevenir síntomas de apunamiento o mal de montaña.

Por último, al momento del suceso la empresa transportista tenía contratado el sistema de monitoreo satelital Michelin Flotas Conectadas. Según el fabricante, este sistema fue diseñado con el objetivo de reducir los riesgos de accidentes y para ello ofrece distintas soluciones tecnológicas. Su principal función es realizar un seguimiento de la unidad con tecnología GSM y Satelital de Alta Órbita, lo cual garantiza la cobertura de señal incluso en zonas remotas.

Uno de los productos que ofrece el sistema es la telemetría para la gestión del comportamiento del conductor⁵, es decir, la medición de distintas variables relacionadas con la conducción, como exceso de velocidad en pista seca, pista mojada y tramos peligrosos (puentes, rotondas, área escolar y otros), aceleración o frenada brusca y circulación en punto muerto. Este producto permite detectar a tiempo comportamientos de riesgo y comunicarse con el conductor para corregirlos. Luego, es posible analizarlos para diseñar el reentrenamiento que requiera cada conductor. Las infracciones de curvas, aceleración, velocidad y frenados bruscos se calculan y

⁵ [Michelin AR · Soluciones](#)

acumulan en el sistema, generando tarjetas rojas cuando algún elemento necesita atención especial y calculando notas en rankings mensuales.

El producto tiempo de dirección⁶ permite acompañar en línea, vía sistema web, todas las actividades diarias de los conductores y la comunicación bidireccional, a través de una tablet operada por el propio conductor.

2.6. Factores externos a la organización (gubernamentales, regulatorios y sociales)

2.6.1. Aspectos relativos al diseño y mantenimiento de la vía

El tramo de la RN 52 donde se produjo el accidente es administrado por el distrito 6° Jujuy de la Dirección Nacional de Vialidad, lo que implica que las tareas de conservación y mantenimiento se realizan en forma directa por la DNV. Se ha solicitado a este organismo información relativa al Plan de Mantenimiento, pero no se obtuvo respuesta.

En 2019 se realizaron tareas de repavimentación y señalización en la RN 52, con colaboración de la Dirección Provincial de Vialidad de Jujuy (DPV). La única información que se pudo obtener fue a través de fuentes no oficiales (notas periodísticas), en las que se menciona que ambos organismos trabajaron en conjunto aportando personal⁷, realizando tareas de repavimentación, bacheo y reacondicionamiento de banquetas en todo el tramo de la cuesta de Lipán. Sobre este punto, tampoco se pudo obtener información oficial acerca de la existencia y tipo de convenio realizado entre DNV y DPV, y si las obras incluyeron el tramo relevado por la JST.

Por otro lado, con relación al diseño de los sistemas de contención, en la norma de diseño geométrico y seguridad vial (DNV, 2010) en el Anexo 7 del capítulo 7, se recomienda lo siguiente con respecto al uso de los niveles de TL-4/5/6 para las

⁶ [Michelin AR · Soluciones](#)

⁷ [Vialidades nacional y provincial trabajan juntas en la Cuesta de Lipán | Vía Jujuy \(viapais.com.ar\)](#)

barreras de contención lateral: donde la geometría planialtimétrica sea pobre y donde el traspaso de la barrera por un vehículo pesado tenga consecuencias graves para el conductor y/o para el resto de la población. Se recomienda una barrera T-L4 como mínimo en:

- Curvas horizontales con radios menores que 400 metros en caminos para zonas de topografía accidentada, tales como; acantilados, bordes de quebradas o cualquier otra singularidad geográfica que involucre un alto riesgo de conducción
- Sectores con antecedentes de accidentes, de cualquier envergadura, donde los vehículos han perdido el control, saliendo de la calzada e invadiendo zonas no despejadas

2.6.2. Aspectos relativos al control y fiscalización

Los principales puntos de control y fiscalización se encuentran en la localidad de Tumbaya y en el Paso de Jama, zona de frontera con la República de Chile. Allí se encuentran los puestos de Gendarmería Nacional Argentina, Dirección General de Aduanas y Dirección Nacional de Migraciones.

Sin embargo, en el tramo del suceso no hay radarización ni postas de control de velocidad. Al respecto, el personal ejecutivo de la empresa involucrada manifestó su preocupación puesto que, más allá de sus responsabilidades sobre el entrenamiento de sus conductores, no existe ningún control de velocidad en el tramo que pueda prevenir comportamientos de riesgo en una ruta considerada por ellos como muy peligrosa.

3. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos en el marco del modelo sistémico supone evaluar la participación en el suceso de factores presentes en los distintos niveles del sistema de transporte. El objetivo es reconocer cómo estos se manifiestan en el entorno inmediato de la operación, en el entorno organizacional y en el nivel externo relativo a las regulaciones del sistema. En esta sección se exponen las hipótesis de trabajo agrupadas por factores desencadenantes y condiciones latentes.

3.1. Factores desencadenantes

Los datos relevados permitieron identificar que la pérdida de control del vehículo ocurrió por un exceso de velocidad en la curva (Ver Anexo 5), es decir, la velocidad de circulación fue superior a la crítica. Asimismo, se exploraron otras hipótesis de factores desencadenantes vinculadas con fallas mecánicas del vehículo y con el estado toxicológico o fatiga del conductor y estas fueron descartadas por falta de datos.

De acuerdo con el modelo de estimación de velocidades (ver Anexo 3) y a las observaciones referidas a las huellas de derrape relevadas en el lugar del hecho (Ver Anexo 1), se establece que la velocidad de circulación del vehículo fue superior a los 40 km/h, velocidad indicada como máxima permitida en la zona mediante la señalización vertical. Se establece entonces que el exceso de velocidad en relación con la velocidad crítica del vehículo en la curva fue el factor desencadenante, dado que implicó que se supere la capacidad física de adherencia estática del vehículo, lo que ocasionó la pérdida de control.

3.2. Condiciones latentes

En esta sección se describen los elementos de carácter organizativo que en el suceso analizado representaron una debilidad o ausencia de las defensas del sistema. Estos factores refieren a las decisiones y procesos que crean las condiciones que enmarcan la acción de los operarios de primera línea. Se presentan a continuación las condiciones latentes vinculadas a la señalización inadecuada e insuficiente presente en el tramo de la curva del suceso, insuficiente nivel de contención de la barrera instalada en la curva y otros aspectos vinculados al mantenimiento de la infraestructura vial.

3.2.1. Diseño inadecuado del sistema de contención lateral

Las barreras de defensa son dispositivos utilizados para la contención de vehículos que puedan salir fuera de la calzada dirigiéndose hacia un objeto o situación peligrosa. Normalmente, las barreras están dispuestas de manera longitudinal y se instalan al

costado de la calzada (CDC) para evitar, mediante la redirección del vehículo desviado, el encuentro de éste con una situación peligrosa. Un parámetro relevante de éstas es el nivel de contención, que define su capacidad de retención y reencause del vehículo a la vía cuando este sale despistado de la ruta. Se determina a través de ensayos, donde los parámetros que se toman en cuenta son: masa del vehículo (tipo de vehículo), velocidad, ángulo de impacto y la capacidad de contener la energía del choque sin causar muertes o lesiones graves a los ocupantes del vehículo. En las *Normas y Recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial, Anexo 7* (DNV, 2010), se hace una recomendación sobre el uso de los distintos niveles de contención según situaciones críticas en la geometría de la vía y sus costados.

La curva cuenta con un radio mucho menor a 400 metros, una topografía accidentada -presencia del acantilado- y una mala perspectiva de visualización debido a la configuración de las montañas, que no permiten al conductor dimensionar el peligro hasta estar muy cerca de la curva. Por estas características geométricas y por el tránsito de la vía, correspondería un mínimo de contención TL-4/5/6. Es decir que al momento del suceso se contaba un nivel de contención subdimensionado.

3.2.2. Señalización inadecuada

La señalización constituye un factor fundamental para la conducción por carretera, como indica la DNV: “la circulación vehicular y peatonal deben ser guiadas y reguladas a fin de que puedan llevarse a cabo en forma segura, fluida y ordenada”. Como señala la DNV (2017: 5) los objetivos de la señalización horizontal y vertical se encuentran en “brindar información clara, precisa e inequívoca, estando destinado a transmitir al usuario de la vía pública órdenes, advertencias, indicaciones u orientaciones, mediante códigos comunes en todo el país y de modo coherente con los utilizados en la región” (2017: 5).

Una de las condiciones latentes identificadas durante la investigación tiene que ver con la señalización. Existen tres aspectos que hacen que esta resulte inadecuada para las características del tramo: falta de correspondencia entre las señales de velocidad máxima y la velocidad de diseño de la curva, conservación y mantenimiento y señales

insuficientes. Antes de adentrarnos en el desarrollo de estos tres aspectos, se deja constancia de algunas características particulares en el diseño de la vía.

La topografía del tramo de la RN 52 analizado responde a un entorno de alta montaña, con fuertes pendientes y presencia de cauces de ríos secos, generalmente con pendientes muy pronunciadas producto de la erosión. Dentro de ese contexto, el diseño geométrico de la ruta se encuentra severamente condicionado, ya que se debe construir una traza que tienda a reducir las fuertes pendientes existentes, mediante el diseño de caminos zigzagueantes con presencia de curvas y contracurvas cerradas, es decir, caminos sinuosos con pendiente.

Como consecuencia de las exigencias del entorno, el radio de algunas curvas, entre ellas la del suceso, cuentan con el radio mínimo explicitado en las normas de diseño. Para la curva en cuestión, mediante los cálculos realizados, se obtuvo que el radio es de 25,94 m, muy cercano al mínimo absoluto dado por la norma, que es de 25 m (DNV, 1980).

Falta de correspondencia entre señalización y características de la vía

La velocidad máxima que se señala en la zona del hecho es de 40 km/h, la cual supera la velocidad de diseño de la curva y se corresponde con la velocidad crítica teórica de derrape desarrollada en el Anexo 3. En la sección 2.4.1, se citan los documentos que relacionan algunas características de esta vía (radio y peralte) con la velocidad de diseño, resultando de 30 km/h en los casos más permisivos. En conclusión, la velocidad máxima permitida en el lugar del hecho no contempla un margen de seguridad respecto del cálculo teórico ni se basa en los documentos de referencia para el diseño de vías, por lo tanto, tiene consecuencias directas en el riesgo de la pérdida de control de los vehículos.

Conservación y mantenimiento

Se advirtieron banquetas obstruidas con escombros del desprendimiento de laderas, señales horizontales poco visibles producto del desgaste de pintura y señales verticales obstruidas por vegetación, condiciones atribuibles a la falta de

mantenimiento de la vía y de la señalización. Esta situación constituye una condición latente para la ocurrencia de sucesos en el tramo, puesto que se disminuye la posibilidad de percepción del mensaje de advertencia de peligros indicados por las señales hacia los usuarios, pudiendo exponerlos a los riesgos existentes sin poder prevenir maniobras repentinas o peligrosas.

Señalización insuficiente

Dadas las características del entorno que ya se han desarrollado, se pone de manifiesto que las señales existentes son insuficientes para el grado de complejidad que reviste la conducción en este tipo de vía. Al respecto, se observa la ausencia de señalización en la zona de la curva que advierta la presencia del riesgo anunciado previamente como reiteración de señal de curva cerrada y señales tipo chevrón indicadas en la norma.

3.2.3. Normas de diseño vial ambiguas

Actualmente la normativa vigente en cuanto a diseño de vías es la Norma de diseño geométrico de 1980, pero existen otros documentos sobre diseño, como la actualización de la norma de 2010 y los manuales de señalización horizontal (2013) y vertical (2017). Asimismo, con relación a las barreras de contención lateral la normativa del año 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 tipo de barreras flexibles, 3 semirrígidas y 1 de tipo rígida. En cambio, el manual de diseño y las Recomendaciones Sobre Sistemas de Vehículos Sección Barreras Laterales del año 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 ser de carácter vinculante.

De estas, solo la norma de diseño geométrico representa una normativa aprobada por resolución, mientras que los otros documentos funcionan como sugerencias, pero no representan una regla ni se exige su cumplimiento.

4. HALLAZGOS

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la investigación.

4.1. Hallazgos vinculados a factores relacionados con el accidente

A partir del análisis realizado se identificaron factores que contribuyeron a la ocurrencia del suceso, es decir, condiciones latentes que pueden permanecer inactivas y no generar ningún efecto adverso hasta que su interacción con circunstancias particulares hace que se superen las defensas del sistema en sus distintos niveles.

- La velocidad de diseño es de 25 km/h para un radio de 25,94 m, su respectiva señalización es de máxima 40 km/h y el vehículo al ingresar en la curva circulaba a una velocidad incluso superior.
- Nivel de contención insuficiente de la barrera de contención lateral.
- Ausencia de una normativa clara de diseño de barreras de contención lateral y señalización permite la dispersión de criterios para la construcción de rutas.
- La falta de mantenimiento de la banquina (remoción de escombros y desmalezamiento) afectó la visibilidad de la señalización vertical, generando posibles omisiones involuntarias de información por parte del conductor.
- Falta de señalización indicativa sobre la traza de la curva, según la normativa y manuales vigentes.
- Subutilización del sistema de gestión de flotas Michelin con el que contaba la empresa para realizar el seguimiento del camión, conductas desplegadas, velocidades desarrolladas y alertas de incidentes ocurridos.

Los hallazgos referidos se traducen en recomendaciones tendientes a mejorar la seguridad del sistema.

4.2. Hallazgos vinculados a otros factores de riesgo relevantes para futuras investigaciones

En el transcurso de la investigación se detectaron otros puntos relevantes vinculados con factores del sistema que no participaron en forma directa en el suceso, pero que formaron parte del contexto operacional del suceso.

No reparación o reposición de la barrera de contención

Se constató que, habiendo transcurrido 13 meses desde el accidente, no hubo reparación ni reposición de la barrera de contención lateral. Esto podría implicar una debilidad en las defensas presentes en la vía y, en consecuencia, un mayor riesgo ante futuros sucesos.

Insuficiente experiencia de conducción en alta montaña

La conducción en caminos de alta montaña conlleva una serie de riesgos adicionales respecto de la conducción en llanura. La sinuosidad de los caminos combinada con las fuertes pendientes supone un riesgo que se acrecienta cuando se realiza un transporte de cargas (Altamira, 2020). El conductor del vehículo del suceso contaba con cuatro años de antigüedad de licencia para transporte de vehículos de carga de jurisdicción provincial en la provincia de Salta y dos meses desde la obtención de la LiNTI, la cual otorga la habilitación para realizar transporte interjurisdiccional. A pesar de que esta información no basta para inferir cuál es la trayectoria en conducción en alta montaña, se advierte que el marco de experiencia previa que pudo tener el conductor se suscribió únicamente al ámbito provincial. Esta situación difiere de los criterios de selección de conductores mencionados por la empresa, donde se considera una antigüedad de cinco años de conducción en caminos de montaña.

Sistemas de gestión de flotas

En la actualidad, los servicios de transporte tienden a la incorporación de tecnología, tanto para la asistencia a la conducción como para la mejora de la experiencia del cliente, tal como indica Lordi: “una flota conectada permitirá que tanto la trazabilidad

como el seguimiento de los bienes sean más predictivos, rápidos, precisos y seguros. (Agenda de citas de mantenimiento automáticas, predicción de fallas, etc.)” (2018: 33).

Desde la perspectiva de la seguridad operacional, los sistemas de gestión de flotas son herramientas que permiten la aplicación de medidas reactivas y proactivas para mejorar las condiciones operativas. Algunos ejemplos son el seguimiento en vivo de vehículos, comunicación directa entre la base de control y conductores, control de velocidad, alertas por fallas y recolección de datos para análisis de performance.

Al momento del accidente la empresa contaba con un sistema de gestión de flotas, cuyo equipamiento estaba instalado en el vehículo. Según comentó el personal calificado de la empresa, no se empleó ninguna herramienta de seguimiento ni de alertas hacia el conductor durante el viaje. Es decir, por un desaprovechamiento del sistema, no se contó con las defensas que este puede proveer.

5. RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

La Dirección Nacional de Investigación de Sucesos Automotores de la Junta de Seguridad en el Transporte emite las siguientes Recomendaciones de Seguridad Operacional destinadas a la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de la Nación.

A Dirección Nacional de Vialidad:

RSO-AU-29-23

Adecuar señalización de velocidad máxima a la velocidad de diseño de la curva, de modo de garantizar un margen de seguridad respecto de la velocidad crítica estimada, siguiendo la normativa vigente.

RSO-AU-30-23

Adicionar señalización faltante en el tramo, según la normativa vigente para ofrecer más información al usuario de la vía.

RSO-AU-31-23

Implementar un Plan de Mantenimiento que garantice la poda de vegetación circundante a las señales verticales, tareas de pintura de las señales horizontales, conservación de banquetas y reparación o sustitución de barreras de contención.

RSO-AU-32-23

Desarrollo de una única norma aplicable para el diseño, implantación y mantenimiento de señalización horizontal y vertical.

RSO-AU-33-23

Instalar barreras laterales con un nivel de contención mínimo TL4 en las curvas de la cuesta del Lipán cuando en el desarrollo de la misma, su zona de camino este expuesta a acantilados.

6. ACCIONES DE SEGURIDAD OPERACIONAL

A Transgol SRL:

ASO-AU-01-23

Implementar un conjunto de medidas de prevención relacionadas con la información y herramientas que provee el sistema de monitoreo en tiempo real de flotas para:

- Identificar y rectificar posibles comportamientos de riesgo mediante la comunicación con los conductores
- Configurar alertas para prevención de áreas de peligro mediante la comunicación con los conductores

Crear un programa de capacitaciones y reentrenamientos periódicos personalizados

7. LIMITACIONES

Una de las principales limitaciones para esta investigación fue la imposibilidad de acceder a la inspección del vehículo, puesto que su posición final, al fondo de un acantilado con una profundidad aproximada de 50 m era de difícil acceso y presentaba

un riesgo para el personal de investigación accidentológica. La empresa realizó la remoción aproximadamente un mes después del suceso, y luego, en las instancias de contacto que se produjeron, no se pudo acceder a la posibilidad de una inspección. Otra limitación se vincula a la obtención de información toxicológica y de salud del conductor, a la cual no se pudo tener acceso.

8. FUENTES DE INFORMACIÓN

8.1. Entrevistas

DNISAU (22/2/22). Entrevista semiestructurada a personal ejecutivo y de seguridad e higiene de la empresa Transgol SRL.

8.2. Informes recibidos

Nota SMN (31 de agosto de 2021). NO-2021-80751529-APN-DNISAU#JST.

8.3. Páginas Web

Transgol SRL (15/2/2022). <https://transgolsrl.com/>

Michelin Flotas Conectadas (4/8/2022). <https://flota-conectada.michelin.com.ar/home/>

8.4. Visitas al lugar del accidente

Relevamiento accidentológico (24/6/2021)

Relevamiento de infraestructura vial (11/8/2022)

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altamira, A. (2020). Diseño Geométrico de Caminos de Montaña: particularidades y desafíos. Avances: Investigación En Ingeniería,17(2). Universidad Nacional de San Juan.

Dirección Nacional de Vialidad (1980). Atlas. Normas de diseño geométrico de carreteras.

Dirección Nacional de Vialidad (2010). Atlas. Normas y recomendaciones de diseño geométrico y seguridad vial.

Dirección Nacional de Vialidad (2017). Manual de señalamiento horizontal, República Argentina.

Dirección Nacional de Vialidad (2017). Manual de señalamiento vertical. Ministerio de Obras Públicas, República Argentina.

Irureta, Víctor A. (2017). Accidentología vial científica. Buenos Aires: Cathedra Jurídica

Lordi, H. (2018). Internet de las cosas y big data en el mundo del transporte y la logística. Instituto del Transporte. Universidad Nacional de San Martín.

10. ANEXOS

10.1. Dinámica del suceso

A continuación, se presentan los rastros y daños hallados en el lugar del accidente que permitieron la determinación de la secuencia fáctica del suceso y la síntesis de la dinámica resultante.

Ingreso a la curva y derrape

Se registraron huellas de derrape que iniciaban sobre la calzada del carril este (derecho) que se extendían por 42,2 metros de forma curva, luego cruzaban hacia el carril contrario hasta alcanzar el borde de la banquina a la altura del punto máximo de curvatura del tramo, lugar donde finalizaban. Estas huellas evidencian el desplazamiento descontrolado y lateralizado del camión y semirremolque al ingresar a la curva.

Figura 17. Huellas de derrape demarcadas por los neumáticos del camión sobre la calzada en la zona de la curva

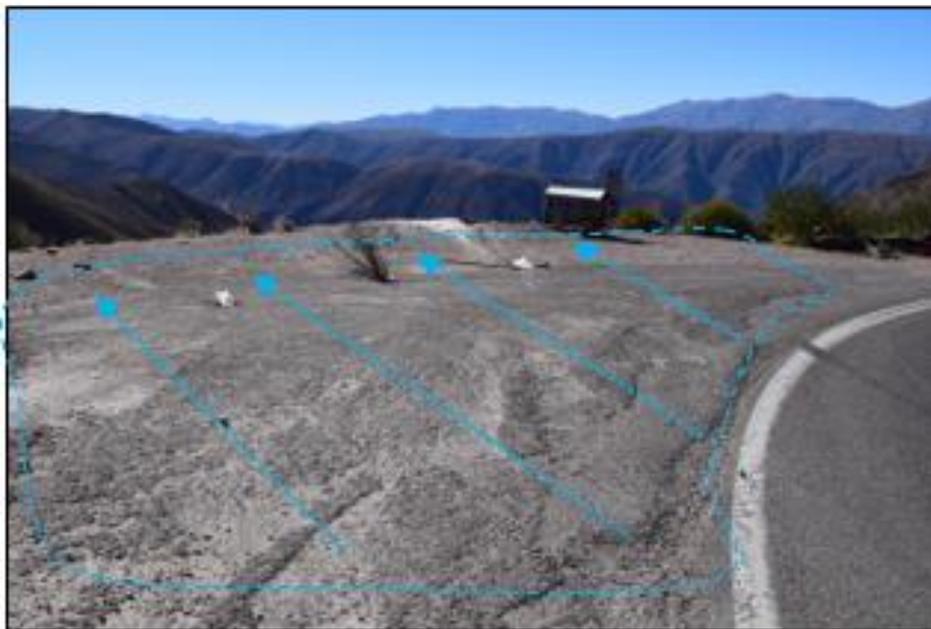


Nota: Fotografía de las huellas de derrape sobre la curva tomada en sentido desde Susques hacia Purmamarca. A la izquierda, fotografía vertical al inicio de la curva y a la derecha, fotografía horizontal en la zona media de la curva. Fuente: JST, 2021

Despiste y vuelco

Sobre la banquina externa de la curva se constató la presencia de huellas de efracción (arrastre metálico) demarcadas por la unidad, que se extendían por todo el ancho de la banquina. Estos rastros evidencian el inicio del vuelco en tonel de la unidad y su arrastre sobre el costado de la calzada.

Figura 18. Huellas de efracción sobre banquina y mirador en la parte externa de la curva



Nota: Huellas de efracción sobre la banquina asfalta (área y flechas demarcadas en celeste). Fuente: JST, 2021

Impacto con barrera metálica flex beam

Se observaron sobre la banquina externa los postes de sujeción de la barrera de contención torcidos, con dirección hacia el acantilado y sin el guardarraíl, el cual fue impactado y desprendido completamente en ese sector por el camión durante el vuelco.

Figura 19. Postes de la barrera arrancada dañados por el vehículo volcado



Nota: Tres postes de la barrera de contención dañados, fotografiados desde la zona de calzada de la curva. Fuente: JST, 2021

Despeñamiento

Sobre el mirador se observaron huellas de arrastre y dispersión de material de la carga (sólido en polvo) que transportaba el camión con dirección a la quebrada. Estas fueron demarcadas durante el vuelco de la unidad luego del despiste. Los rastros culminan en el límite del acantilado, lugar donde inició la caída del camión y semirremolque.

Figura 21. Huellas de fricción y arrastre sobre la zona del mirador en dirección hacia el acantilado



Nota: Fotografía de la zona del mirador donde se señalan las huellas de fricción y arrastre (flecha cortada roja) y los restos materiales del camión y la carga transportada (flechas negras). Fuente: JST, 2021

Posición y ubicación final

El camión fue hallado aproximadamente a 50 metros de profundidad en la quebrada, luego de caer e impactar contra las rocas de la ladera de la montaña. Los restos de la cabina, desprendida del chasis, quedaron a pocos metros de distancia⁸ del semirremolque ubicado junto al segmento de guardarraíl arrancado.

⁸ Por la dificultad para relevar el lugar de la posición final del vehículo, no se pudieron hacer mediciones.

Figura 20. Posición y ubicación final del camión y semirremolque accidentado



Nota: Fotografías del camión y semirremolque volcados sobre el acantilado. A la izquierda, los restos del camión y a la derecha, el semirremolque separado de la unidad tractora. Fuente: JST, 2021

Dinámica resultante

El camión Renault Premium 440 DXI con semirremolque, que transportaba una carga de Nitrato de Potasio (NaKO_3) circulaba por la calzada del carril este (derecho) de la RN 52, por el tramo recto del kilómetro 31, en sentido de sur a norte, dirección desde Susques hacia Purmamarca, a una velocidad superior a los 40 km/h.

Al intentar tomar la curva cerrada, su conductor perdió el dominio del vehículo y comenzó a derrapar con sentido hacia el norte (exterior de la curva). Luego cruzó hacia el carril contrario y hacia la extensión de la banquina asfaltada, momento en el que se produjo despiste y vuelco en tonel. En ese instante, la unidad impactó contra la barrera de contención, arrancó completamente un segmento y la arrastró por la explanada del mirador. El camión continuó su trayectoria en situación de vuelco sobre esta zona, dejando dispersos en la banquina restos materiales de su carrocería y de la carga.

Finalmente, al cruzar completamente el mirador, la unidad cayó hacia el acantilado, llevándose consigo parte del guardarraíl e impactando en varias ocasiones contra la ladera de la montaña, generando en la unidad tractora el desprendimiento de la cabina

del bastidor. Al descender por aproximadamente 50 metros, la unidad quedó en su punto de inmovilidad final, con el frente del camión y semirremolque hacia abajo, con sus techos sobre la ladera de la quebrada y sus neumáticos hacia arriba.

10.2. Normativa sobre velocidad de diseño de la curva

Tabla 7. Características de diseño geométrico de caminos rurales

Categoría del camino	Características básicas			Topografía	Velocidad directriz	Peralte máximo	Radio mínimo	
	Volumen de tránsito diario de diseño	Control de accesos	N. ° de trochas				Deseable	Absoluto
V	<150	Sin control	2	Llanura	90	6	520	300
				Ondulada	50	10	120	80
				Montañosa	30	10	40	25

Nota: Extracto de Planilla N.º 1 de “Normas de diseño geométrico de carreteras” de la Dirección Nacional de Vialidad, 1980

Tabla 8. Extracto del Atlas de Vialidad Nacional del año 2010

R	V = 25 km/h		
	VMM = 25 km/h		
m	e	Lem in	S
	%	M	m
20	R min Abs = 20		
	R min Des = 50		
20	10	45	6,6

Nota: Según la Lámina 8, sobre una curva con peralte de 10 % y radio mínimo absoluto de 20 m, corresponde una velocidad directriz de 25 km/h. Fuente: Extracto de “Elementos de diseño geométricos de curvas horizontales para caminos rurales en función de la velocidad directriz para peraltes máximos del 10%” de la Dirección Nacional de Vialidad, 2010

10.3. Relevamientos realizados en el lugar del suceso

Se realizaron dos relevamientos en el lugar del suceso, ambos en horario diurno. El primero de ellos, el 24/6/2021, dos días después del suceso. La metodología de inspección utilizada fue la del barrido, partiendo del lugar del despiste hacia atrás, en el sentido contrario al de circulación del camión.

Se realizaron registros fotográficos y planimétricos de la curva del accidente y del tramo recto anterior de circulación del camión. También se procedió a la búsqueda de rastros coincidentes con maniobras evasivas, de arrastre del vehículo y sus neumáticos, con el inicio del despiste y el vuelco del vehículo, de impacto con elementos de la infraestructura vial, a los efectos de establecer la secuencia fáctica del accidente.

Como resultado, se registraron los indicios y restos materiales dejados por el accidente: huellas de derrape, dispersión de restos del camión y de la carga y los daños a la infraestructura, principalmente de la barrera de contención, así como también las características físicas a partir de la toma de mediciones del ancho de la calzada, banquetas y sobrecorrimiento de la curva, topografía del lugar y la señalización existente en el tramo.

El segundo relevamiento efectuado el 11/8/2022 se avocó específicamente a registrar características de la vía y la señalización horizontal y vertical de la totalidad del tramo que comprende la cuesta de Lipán, entre los kilómetros 16 y 44 de la RN 52, así como también las barreras laterales de contención existentes. Se hizo un relevamiento más exhaustivo en la zona más cercana al lugar del suceso, abarcando 667,5 metros previos y siguiendo el sentido de circulación del vehículo, el cual presenta dos curvas, incluida la del lugar del suceso, y un tramo recto entre ambas. Allí se identificó la distancia entre las señales, su estado de conservación y visibilidad y los aspectos normativos a verificar.

Se realizó un registro fílmico de todo el tramo en ambos sentidos, documentando la señalización observada, su tipo, ubicación y estado, principalmente aquella relacionada con la velocidad de circulación en las curvas. Asimismo, se realizaron

mediciones de la curva del accidente para el posterior cálculo con mayor precisión del radio de curvatura y su velocidad crítica. Se utilizaron para ello odómetro, cinta métrica e inclinómetro digital.

10.4. Cálculo del radio de la curva del lugar del suceso

El radio de curvatura se obtuvo a través de mediciones realizadas sobre el lugar del suceso y posterior cálculo matemático, según parámetros expuesto en Irureta (2017).

$$R=C^2/8*A + M/2$$

Se midieron sobre la curva el valor “C” correspondiente a la cuerda de la circunferencia externa trazada tangente a la circunferencia interna y el valor “A” que es la ordenada media “C” (ver Figura 21).

Estos datos se introdujeron a la fórmula matemática indicada anteriormente y se obtuvo un primer radio:

$$R= C^2/8*A + M/2$$

$$R= (8 \text{ m})^2/8* 0,33 \text{ m} + 0,33 \text{ m}/2$$

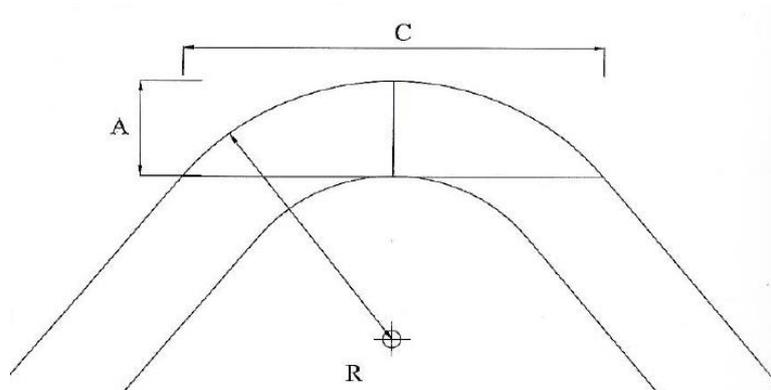
$$R= 25,94 \text{ m}$$

A este resultado se le restó el ancho del carril externo y la mitad del ancho del carril interno, y se obtuvo así el radio de la curva por el sector de circulación del camión (eje central del carril externo).

$$R= 25,94 \text{ m} - 6,49 \text{ m}$$

$$R = 19,45 \text{ m}$$

Figura 21. Parámetros de medición para el cálculo del radio de curvatura de la curva



Nota: "C" corresponde al ancho de la cuerda de la circunferencia externa y "A" a la ordenada media.

Fuente: Irureta, 2017

10.5. Cálculo de velocidades críticas en la curva del suceso

Las velocidades críticas son los límites teóricos que determinan el comienzo de la pérdida de estabilidad, ya sea por vuelco o por derrape. Para cada situación particular intervienen una variedad de parámetros tales como el estado del suelo (asociado a la capacidad de adherencia de los neumáticos), peralte de la calzada, altura del centro de gravedad del vehículo, radio de giro, entre otros.

Para este suceso, se calcularon las velocidades críticas de derrape y vuelco para el camión Renault 440 DXI y semirremolque Randon Batea 02+01 con la carga de nitrato de amonio (la declarada y la máxima posible acorde a la capacidad estimada), en la curva del lugar del hecho. Para ello se utilizaron los siguientes parámetros:

1. Las masas netas aproximadas del camión y el semirremolque son de 7,9 t (toneladas) para el camión y 11,2 t para el semirremolque, las cuales fueron obtenidas del promedio de las planillas de revisión técnica (siendo para el camión tractor Renault Premium 440 DXI, identificados como 005-01010813; 005-01010813; 091-01154455; 129-01127735; 129-01127739; 129-01168186 y 129-01210411 y para el semirremolque Randon SR-CG-02+01, como 129-01173844; 129-01216661 y 129-01244539).
2. La altura del centro de gravedad de ambos vehículos no es conocida y se estimó en un rango entre 0,6 m a 0,8 m. Estos valores de referencia fueron tomados de otros vehículos de carga similares (fuentes: ficha técnica camión Renault KERAX 380.34 6X4 HD y documento “Análisis del comportamiento dinámico de vehículos comerciales ligeros y diseño de una metodología de ensayo”).
3. Debido a que la carga del vehículo no se pudo comprobar, para el cálculo se utilizaron dos valores: por un lado, la declarada por la empresa en la entrevista, la cual fue de 27,5 t, y por otro, la máxima posible estimada. Para definir la carga máxima del semirremolque se constató el volumen interior de la caja, la cual es de 25 m³ nominal (según ficha técnica de Randon Argentina - Semirremolque Batea, 02+01), y luego se multiplicó por la densidad del producto de nitrato de amonio. Esta sustancia tiene una densidad teórica de

1,72 t/m³ (el valor de densidad fue extraídos de la ficha de datos de seguridad de materiales, Sección IX, Propiedades Físicas y Químicas, ver Anexo 4). De acuerdo con estas consideraciones, el semirremolque lleno a tope tendría una masa total aproximada de 43 toneladas.

4. El peralte (e) relevado en el lugar del suceso resultó en 10 %. Es decir, que la altura de la calzada aumenta hacia la zona exterior de la curva a razón de 1 m cada 10 m de ancho.
5. El radio de curvatura (r) se definió por la circunferencia teórica que describe el centro del vehículo sobre la curva desde una vista cenital. El radio exterior de 25,94 m se obtuvo con base en las mediciones tomadas en el lugar del suceso, al igual que el ancho de la calzada de 8,6 m. Considerando que el vehículo debía circular por el carril interno (el de radio menor), se determinó que el radio de curvatura es el que se describe en la mitad de dicho carril, y resulta en 19,45 m.
6. Para el modelo de cálculo de derrape se utilizó el coeficiente de rozamiento (μ), el cual se lo puede estimar en el rango de 0,5 a 0,7 con base en las condiciones de la calzada observadas en el relevamiento y considerando que esta se encontraba seca en el momento del suceso.
7. La trocha del vehículo (distancia del ancho entre las partes externas de las ruedas del vehículo) utilizada fue la del camión, la cual se obtuvo de la Ficha Técnica Personalizada Premium Lander 440.26 Optidriver +T6X43MPTC 26,00 TPTR 44,00 T, y que corresponde a 2,5 m.

El modelo para el cálculo de velocidad crítica de derrape se obtiene del análisis de la sumatoria de fuerzas que actúan sobre el vehículo, debido a su inercia y a la interacción con la calzada. De dicho análisis, despejando la variable de la velocidad, se obtiene la siguiente ecuación (Fuente: Gustavo A. Enciso, 2012, Modelo 15: velocidad crítica en curva con peralte):

$$v = \sqrt{\frac{r \cdot g \cdot (\mu + e)}{1 - \mu \cdot e}}$$

Donde:

v: velocidad crítica

r: radio de giro

g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

μ : coeficiente de rozamiento

e: peralte

El modelo para el cálculo de velocidad crítica de vuelco se obtiene del análisis de la sumatoria de momentos de fuerza respecto del punto de giro, ubicado en este caso en un punto teórico sobre la calzada y el extremo izquierdo del vehículo. Dichos momentos son los generados por las fuerzas centrífuga del vehículo y de reacción normal de la calzada. De dicho análisis, despejando la variable de la velocidad, se obtiene la siguiente ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{r \cdot g \left(\frac{t}{2} \cdot \cos(\alpha) + h \cdot \text{sen}(\alpha) \right)}{h}}$$

Donde:

v: velocidad crítica

r: radio de giro

g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

α : ángulo de peralte

t: trocha del vehículo

h: altura del centro de gravedad del vehículo cargado

Con estos modelos, los resultados de las velocidades críticas son:

- Entre 40 km/h y 46 km/h para derrape
- Entre 49 km/h y 54 km/h para vuelco

Nota: Los resultados expresados en rangos corresponden al cálculo realizado con base en los datos aproximados obtenidos.

Acorde con estos resultados, se puede inferir lo siguiente:

1. La pérdida de control del vehículo fue por derrape, ya que resultó en los valores críticos más bajos.
2. La carga del vehículo no influyó en la pérdida del control.
3. El vehículo circuló por encima de los 40 km/h, exponiéndose al derrape del vehículo (cuando el coeficiente de rozamiento es cercano a 0,5).

10.6. Ficha técnica de nitrato de amonio

Figura 22. Extractos de “ficha de datos de seguridad de materiales. Nitrato de amonio”

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DE MATERIALES NITRATO DE AMONIO	
SECCIÓN I - INFORMACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA	
Nombre Comercial: NITRATO DE AMONIO	
Nombre Químico: NITRATO DE AMONIO	
N° CAS: 6484-52-2	
N° EC: 229-347-8	
Recomendaciones de Uso:	
<Nombre de la empresa>	
Fabricante:	<Dirección> <Pcia> <CP>
	<Teléfono>
Teléfono para emergencias (24 horas): <Teléfono>	
SECCIÓN II – IDENTIFICACIÓN DEL PELIGRO	
CLASIFICACIÓN (según la Directiva 1272/2008/EC)	
PICTOGRAMA:	
	Sólido oxidante (Categoría 3) Irritación ocular (Categoría 2)
PALABRA DE ADVERTENCIA:	ATENCIÓN
INDICACIONES DE PELIGRO:	H272 Puede agravar un incendio; comburente. H319 Provoca irritación ocular grave.
CONSEJOS DE PRUDENCIA:	
PREVENCIÓN	P210 Mantener alejado de fuentes de calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. No fumar. P220 Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles. P264 Evitar todo contacto con los ojos, la piel o la ropa. P280 Usar guantes, ropa y equipo de protección para los ojos y la cara.
INTERVENCIÓN	P370 + P378 En caso de incendio: Utilizar niebla de agua para la extinción. P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado. P337 + P313 Si la irritación ocular persiste: Consultar a un médico.
ELIMINACIÓN	P501 Eliminar el contenido/recipiente conforme a la reglamentación nacional/internacional.
CLASIFICACIÓN (Según la Directiva 67/548/CEE – DSD o Dangerous Substances Directive –)	
SÍMBOLO DE PELIGRO:	
FRASES R:	R36/37/38 Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias. R8 Peligro de fuego en contacto con materias combustibles. R9 Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.



SECCIÓN IX – PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
FORMA Y APARIENCIA:	Cristales blancos higroscópicos
OLOR:	Inodoro
UMBRAL DE OLOR:	No disponible
pH:	5.43 a 0.1M
PUNTO DE FUSIÓN:	169.7°C
PUNTO DE EBULLICIÓN :	200°C – 260°C (descompone)
PUNTO DE INFLAMACIÓN:	No disponible
TASA DE EVAPORACIÓN:	No disponible
TEMP. DE AUTOIGNICIÓN:	No disponible
INTERVALO DE EXPLOSIVIDAD:	No disponible
PRESIÓN DE VAPOR (20°C):	No disponible
DENSIDAD VAPOR (AIRE=1):	No disponible
DENSIDAD (20°C):	1.72g/cm ³
SOLUBILIDAD (EN AGUA, 20°C):	190g/100ml
COEF. DE REPARTO (pK _{ow}):	No disponible
VISCOSIDAD (cP):	No disponible

Fuente: Cámara de la industria argentina de fertilizantes y agroquímicos (CIAFA).

<https://www.ciafa.org.ar/info-fertilizantes-msds>