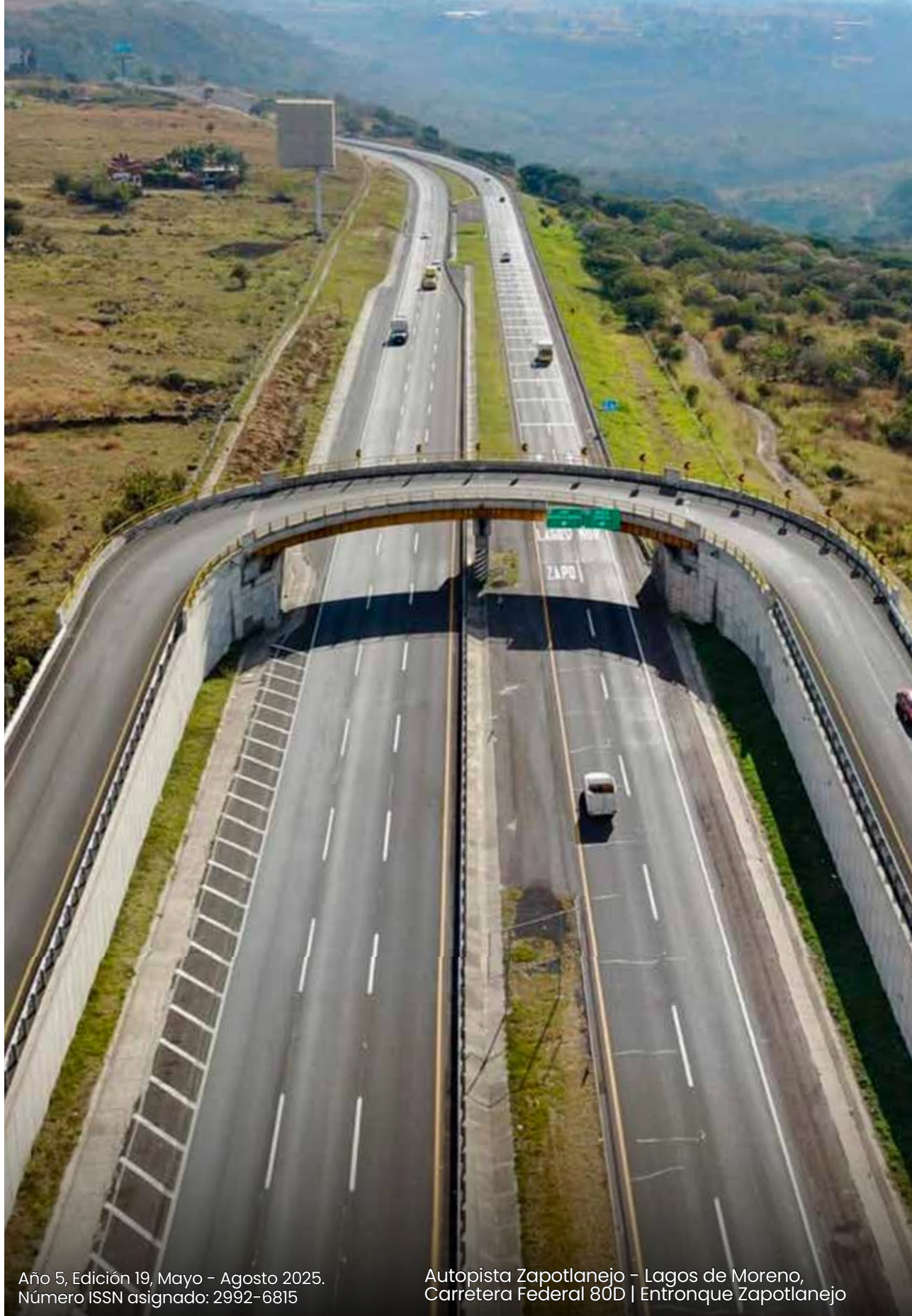




Año 5, Edición 19, Mayo - Agosto 2025.
Número ISSN asignado: 2992-6815

Autopista Zapotlanejo - Lagos de Moreno,
Carretera Federal 80D | Entronque Zapotlanejo

ENTREVISTA

ING. DAVID OMAR CALDERÓN HALLAL

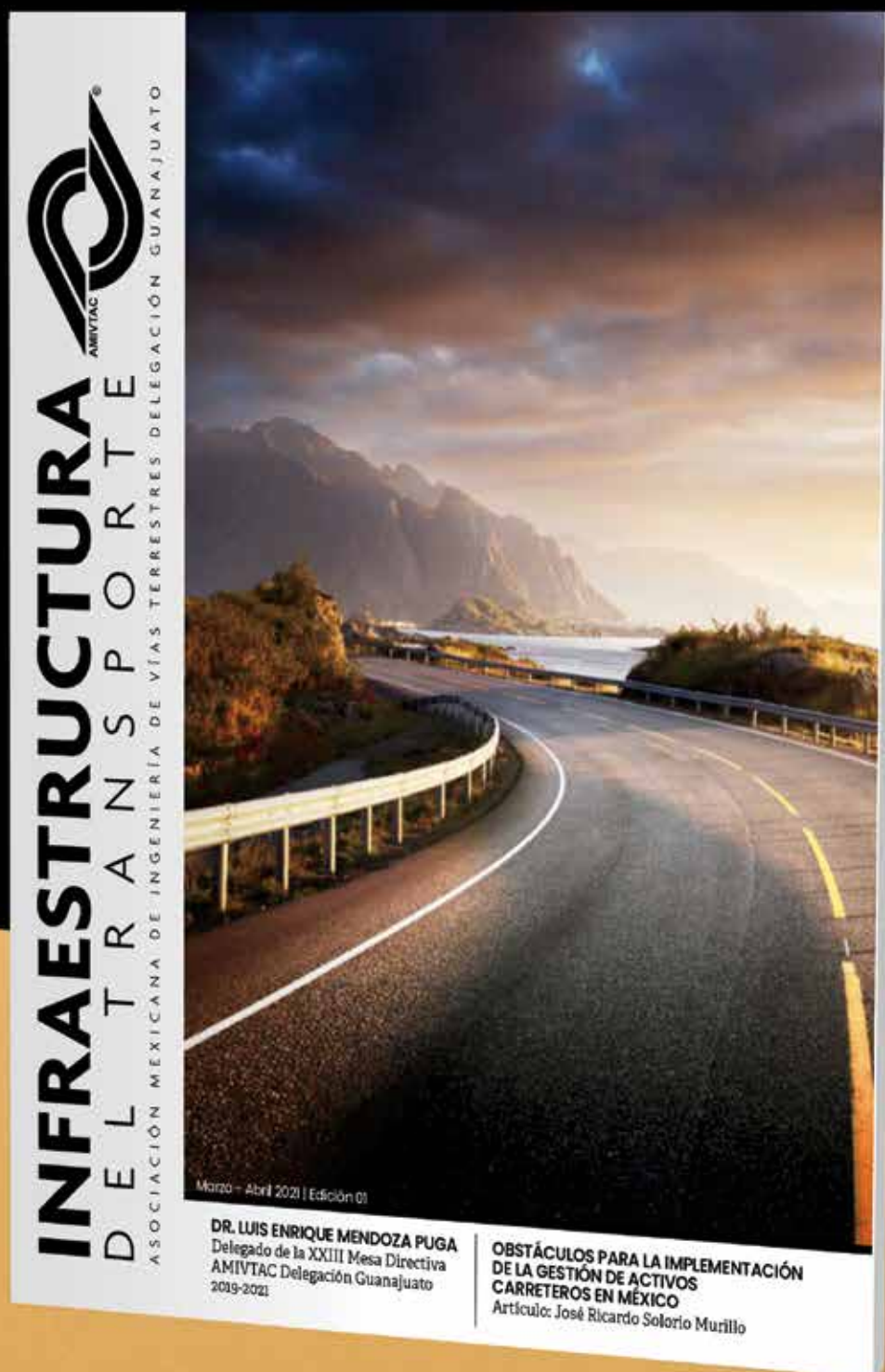
Director General de Conservación de Carreteras.
Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y
Transportes.

CARACTERIZACIÓN DE BALASTO FERROVIARIO EN MÉXICO

Investigadores del Instituto Mexicano del Transporte.
Alfonso Pérez Salazar.
Norma Patricia Curiel Iñiguez.



LLEGA A MÁS PERSONAS DE LA INDUSTRIA



ANÚNCIATE CON NOSOTROS,
TENEMOS PRESENCIA A NIVEL NACIONAL

CONTENIDO

8

ENTREVISTA

**ING. DAVID OMAR
CALDERÓN HALLAL**

Director General de Conservación
de Carreteras
Secretaría de Infraestructura,
Comunicaciones y Transportes



10

CARACTERIZACIÓN DE BALASTO FERROVIARIO EN MÉXICO

Alfonso Pérez Salazar
Norma Patricia Curiel Iñiguez
Investigadores del Instituto
Mexicano del Transporte



20

¿CÓMO PRIORIZAR INTERVENCIONES EN UNA RED VIAL COMPLEJA Y VULNERABLE?

Paul Garnica Anguas



24

TOPOGRAFÍA 4.0: LA VANGUARDIA DIGITAL EN LA INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

Dr. Víctor Guillermo Flores Rodríguez
Universidad de Guanajuato





CONSEJO EDITORIAL

Presidente del Consejo Editorial:

Dr. Luis Enrique Mendoza Puga

Consejeros:

Mtro. Alfonso Pérez Salazar

Dra. Alma Hortensia Serafin Muñoz

Mtro. David Jiménez Molina

Dr. Horacio Delgado Alamilla

Mtro. José Antonio Guerrero Fernández

Ing. Juan Carlos Capistrán Fernández

Dr. Julio César Leal Vaca

Dr. Paul Garnica Anguas

Ing. Raphael Barraza Mariscal

Ing. Rubén Frías Aldaraca

Ing. Rigoberto A. Moreno Vázquez

CONTACTO

 Amivtac Delegación GTO

 @amivtac_gto

www.amivtacguanajuato.org

Año 5, Edición 19, MAYO - AGOSTO 2025

Número ISSN asignada: 2992-6815

Infraestructura del Transporte es una revista cuatrimestral, publicada bajo la dirección de AMIVTAC Delegación Guanajuato. Las opiniones expresadas en cada artículo son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de AMIVTAC Delegación Guanajuato. La mención de marcas o productos son servicios referenciales e informativos, por lo que no conllevan responsabilidad para la editorial. Los contenidos publicitarios son responsabilidad exclusiva de los anunciantes.

Revista Infraestructura del Transporte, Año 5, No. 19, Mayo - Agosto 2025, es una publicación bimestral editada por la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres Delegación Guanajuato A.C. Calle Balcón del Beso 55, Col. Independencia, C.P. 36257, Guanajuato, Gto. Tel. 473 100 4261. www.amivtacguanajuato.org. gerencia.gtoamivtac@gmail.com Editor responsable: Luis Enrique Mendoza Puga. Reservas de derechos al uso exclusivo e ISSN ambas en trámite en el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Licitud de título y contenido en trámite ante la Comisión Calificadora de Medios Impresos y Revistas. **Este número se terminó el 15 de Agosto en su versión impresa y digital.** Impresa por Coloristas y Asociados S.A. de C.V. con dirección en Calzada de los Héroes No. 315, Col. Centro, León, Guanajuato, C.P. 3700.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización.

Fotografía en portada: Autopista Zapotlanejo - Lagos de Moreno, Carretera Federal 80D, Entronque Zapotlanejo

DISEÑO ORIGINAL

Koutye Comunicación 360

www.koutye.com.mx

MESA DIRECTIVA

Presidenta

Dalia Eréndira Mendoza Puga

Vicepresidente

Francisco Anzures Constantino

Vicepresidenta

Maura Mónica Rangel Aguilar

Secretaria

Emma Olivia de la Cruz Flores

Tesorera

Eréndira Castellanos Mendoza

Vocal I

Luis Anaya Martínez

Vocal II

Eduardo Alfonso Chan Euan

Vocal III

Benito Gerardo Lozada Quintana

Vocal IV

José Olaya Hernández

COMISIONES

Comisión de Honor y Justicia

Raphael Barraza Mariscal

Comisión de Conservación de Carreteras

Luis Alfonso Morales Cazarez

Cruz Enrique Sánchez Tovar

Comisión de Puentes

Juan Manuel Yebra Valtierra

Francisco Gerardo Guerrero Gutiérrez

María Carmen Cervantes González

Comisión de Seguridad Vial

Martha Carina Gutiérrez Méndez

Comisión de Pavimentos

Lorenzo Gildardo Cazares Rizo

Andrés Roberto Romo Lugo

Comisión de Gestión de Pavimentos

José Stefanoni Ramirez

Comisión de Evaluación Financiera y Concesiones

Daniel Hörner García

Sergio Thompson López

Héctor Thompson López

Comisión de Normatividad

Juan López Tapia

Comisión Ambiental y Sustentabilidad

Maria Guadalupe Blancarte Garnica

Comisión de Aeropuertos

Cecilia Gil Soto

Francisco Javier Saucedo López

Comisión de Planeación y Proyectos

José Juan Lozano Razo

Eduardo Flores Palacios

Comisión del Capítulo Estudiantil

Victor Manuel Rivera



Estimados colegas y lectores:

La décimo novena edición refleja nuestro compromiso permanente por fortalecer el análisis técnico, la reflexión profesional y la difusión del conocimiento que impulsa el desarrollo de las vías terrestres en México. En esta entrega, reunimos contenidos que dialogan entre la experiencia, la innovación y la responsabilidad que implica planear, conservar y modernizar nuestra infraestructura.

En este número el ingeniero David Omar Calderón Hallal, nos comparte una visión profunda sobre la conversación carretera como una actividad estratégica, preventiva y de alto impacto social. Su trayectoria y liderazgo permiten comprender cómo las decisiones técnicas, sustentadas en la experiencia de campo y la planeación a largo plazo, inciden directamente en la conectividad, la seguridad vial y el bienestar de las comunidades.

Asimismo, se presenta un artículo sobre la caracterización del balasto ferroviario en México, que subraya la importancia de identificar sus propiedades físicas y mecánicas para garantizar un desempeño adecuado de la vía férrea frente a las crecientes demandas de carga y velocidad, contribuyendo a una conservación más eficiente y técnicamente sustentada.

También se aborda el reto de priorizar intervenciones en redes viales complejas y vulnerables, proponiendo un enfoque técnico y estratégico que permite optimizar recursos y fortalecer la resiliencia de la infraestructura ante condiciones geotécnicas y operativas diversas.

Finalmente, el último artículo expone el papel transformador de las tecnologías digitales en la ingeniería de vías terrestres, destacando su impacto en la toma de decisiones, la seguridad y la gestión integral del ciclo de vida de la infraestructura.

Confiamos en que este número sea una herramienta de consulta y reflexión para nuestros lectores, y un aporte significativo al fortalecimiento de la ingeniería de vías terrestres en nuestro país.

Atentamente,
C.P. Dalia Eréndira Mendoza Puga
Presidenta AMIVTAC Delegación Guanajuato



ING. DAVID OMAR CALDERÓN HALLAL

**DIRECTOR GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES**

Entrevista y foto: Editorial

Desde su encargo como Director General de Conservación de Carreteras en la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, el Ingeniero David Omar Calderón Hallal concibe la red carretera nacional como un sistema dinámico que exige supervisión constante, planeación rigurosa y decisiones técnicas oportunas. Su principal motivación profesional radica en garantizar que las carreteras libres de peaje alcancen niveles de servicio iguales o superiores a los de cuota, con la plena conciencia de que cada inversión y cada criterio técnico adoptado impactan directamente en la seguridad vial, la conectividad territorial

y la calidad de vida de millones de personas. Para el ingeniero, recorrer los caminos del país, dialogar con los equipos en campo y constatar los resultados de una intervención bien ejecutada, particularmente en zonas de alta complejidad o regiones apartadas, representa una de las mayores satisfacciones de su trayectoria.

A lo largo de una extensa carrera en el ámbito de la geotecnia, ha participado en proyectos emblemáticos que marcaron su evolución profesional, como la estabilización de laderas en tramos complejos de la carretera Mazatlán-Durango y en el entorno del Puente Mezcala.

“ La ingeniería y el liderazgo en la conservación de carreteras ”

Estas experiencias reforzaron su convicción de que cada proyecto demanda soluciones específicas, sustentadas en un profundo respeto por la naturaleza del terreno y en un análisis integral de los factores geológicos, hidráulicos y constructivos. Asimismo, trabajos de alta responsabilidad como la recimentación de la Catedral Metropolitana o la intervención en el puente “El Infiernillo” consolidaron en él una visión clara sobre la trascendencia de la ingeniería en la preservación del patrimonio histórico y en la operación segura de infraestructura estratégica para el país.



Su formación de posgrado en Energías Renovables amplió su perspectiva sobre la infraestructura vial y le permitió incorporar criterios ambientales a la práctica tradicional de la ingeniería. En la conservación carretera, esta visión se materializa en el uso eficiente de materiales recuperables, en el aprovechamiento de pavimentos existentes, en la implementación de sistemas de drenaje más inteligentes y en el desarrollo de soluciones resilientes ante los efectos del cambio climático. Para el Ingeniero Calderón Hallal, la ingeniería gris y la ingeniería verde no son enfoques opuestos, sino complementarios cuando se busca optimizar recursos, reducir la huella de carbono y prolongar la vida útil de la infraestructura.

Su metodología profesional se apoya en tres pilares fundamentales: la experiencia en campo, la actualización permanente y la transmisión sistemática del conocimiento acumulado por los ingenieros camineros, asegurando así la continuidad y evolución de la ingeniería mexicana.

Con más de veinticinco años de experiencia, sostiene que la conservación carretera es una labor preventiva, silenciosa y estratégica, donde la atención oportuna de los detalles evita costos mayores y riesgos innecesarios para los usuarios. El ingeniero residente, afirma, debe asumir cada tramo bajo su responsabilidad como una extensión de su propio entorno, cuidándolo con disciplina, compromiso y pasión. Su tránsito de la infraestructura urbana a la red carretera federal implicó un cambio profundo de escala y enfoque, enseñándole que las soluciones deben adaptarse a la diversidad climática, social y económica del territorio nacional, fortaleciendo la coordinación institucional como eje del éxito operativo.

De cara al futuro, destaca la reutilización de pavimentos deteriorados, el uso de hule molido de llanta, la innovación en maquinaria especializada y la incorporación de herramientas digitales para la gestión de la conservación como elementos clave para una red más resiliente. Para el Ingeniero Calderón Hallal, conectar a México significa garantizar que la infraestructura carretera sea un instrumento real de desarrollo social, cohesión territorial y bienestar colectivo, capaz de responder a los desafíos presentes y futuros del país.

CARACTERIZACIÓN DE BALASTO FERROVIARIO EN MÉXICO

Alfonso Pérez Salazar
Norma Patricia Curiel Iñiguez
Investigadores del Instituto Mexicano del Transporte

1. ANTECEDENTES

Las vías sobre balasto generalmente se diseñan para alcanzar una vida útil de 30 años o superior, debido a lo cual, se debe asegurar que sus elementos sean duraderos, como es el caso del balasto, por lo que es importante programar los mantenimientos y, en su caso, renovación de vía de manera oportuna; lo anterior con la finalidad de reducir las afectaciones en la operación y servicio (Montoya, 2020). En ese mismo sentido, es importante considerar que las vías actuales fueron construidas con los medios que se disponían en el momento y, bajo la actual demanda de carga y velocidad, resulta indispensable mejorar la infraestructura existente (Garnica et al., 1997; Galván, 2011).

El desempeño mecánico del balasto está determinado por el conjunto de sus propiedades físicas y mecánicas, por lo que, resulta importante concentrar esfuerzos en la determinación e identificación de aquellas propiedades que influyen de forma significativa en su desempeño dentro de la estructura de la vía férrea, de modo que se cuente con criterios técnicos para respaldar las especificaciones particulares para los materiales empleados como balasto (Shi et al., 2023; Guo et al., 2018).

La conservación de las vías férreas ha implicado altos costos debido principalmente al deterioro de su geometría, lo que se presenta como uno de los problemas más importantes en el transporte ferroviario, en consecuencia, a las exigencias mecánicas actuales que se han presentado por el incremento de velocidades y cargas en los trenes (Lopez, 1981).

De los elementos que forman parte de la estructura e infraestructura de una vía, el balasto es el que mayor aporte tiene a las deformaciones que provocan un deterioro en la calidad de la vía (Estradé y López, 1993; Galván, 2011). En las vías férreas con durmientes de concreto, el 70 % del total de los asentamientos son debidos a la capa de balasto y en vías con durmientes de madera, se le atribuye al balasto el 57 % de los asentamientos (López, 1981).

En la Figura 1 se puede observar el comportamiento de los asentamientos en la capa de balasto derivados de la rotura de las aristas de las partículas, lo que resulta en su redondeo, y desplazamiento. Se ha observado que, después de cierto número de ciclos, la rotura de partículas y los asentamientos se comienzan a estabilizar (Paderno, 2010).

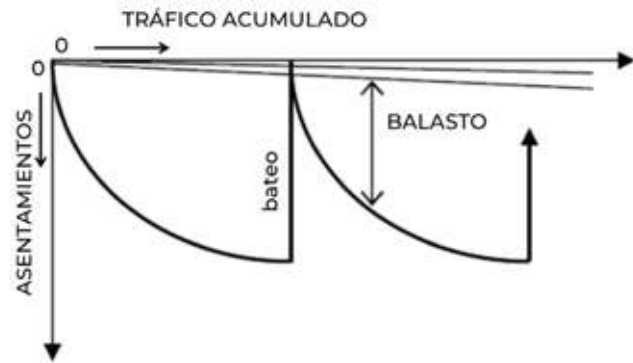


Figura 1:
Asentamientos en la capa de balasto
Fuente: Paderno, 2010.

Existe una relación entre los asentamientos permanentes de la vía y el tráfico que soporta, sin embargo, la detección del momento adecuado de mantenimiento, en función a la calidad geométrica de la vía, no resulta después de un número fijo de ciclos de carga, ya que depende de la heterogeneidad de la resistencia de la vía; misma que se define a partir diferentes factores como, las condiciones de colocación y compactación del balasto, variaciones de compactación en la capa y en la plataforma, espesor de la capa de balasto, rotura de partículas granulares, y contaminación de la plataforma y del balasto. El balasto es el elemento de la vía que más puede influir en el desencadenamiento de los asentamientos en la vía, lo anterior debido a que los esfuerzos a los que están sometidas las partículas de balasto están muy cercanos al de rotura del material granular (Estradé y López, 1990).



Cuando el ferrocarril transita por la vía genera dos fenómenos simultáneos, como se observa en la Figura 2, flexión vertical con una magnitud del orden de entre 1.5 mm y 2 mm bajo el punto de aplicación de la carga de 10 toneladas de la rueda y el levantamiento de la parte delantera de la vía en dirección al movimiento entre 0.15 mm y 0.20 mm (1/10 de la deflexión vertical). En vías con durmientes de concreto, el efecto del levantamiento causa un sucesivo golpeteo del durmiente hacia el balasto, este golpeteo continuo genera mayor desgaste en el balasto. Para prevenir el deterioro prematuro del balasto, se exige que cuente con características de resistencia adecuadas mediante la revisión de sus propiedades (Galván, 2011).

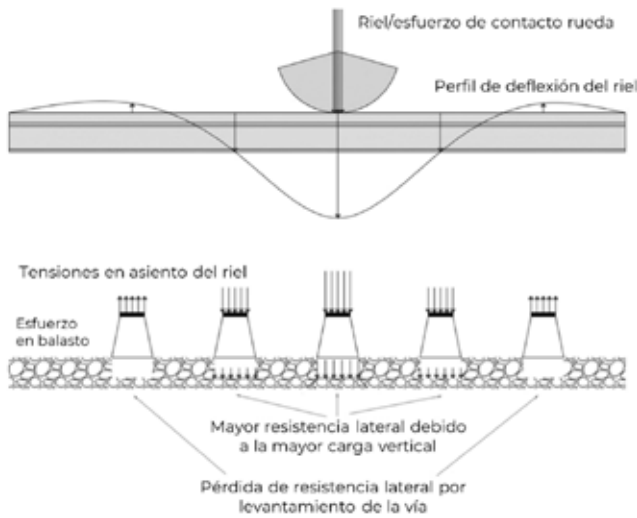


Figura 2:

Efecto de tránsito de tren por la vía

Fuente: Ali, 2013; Miri, 2021; Selig y Waters, 1994.

Por otro lado, las cargas cíclicas del ferrocarril sobre las vías se transfieren a los durmientes y luego a la capa de balasto, esta carga cíclica provoca que las partículas de balasto comiencen a fracturarse y desgastarse, generando partículas finas que afectan el drenaje de la capa, y en presencia de agua, reducen la fricción entre las partículas de balasto afectando el desempeño mecánico de la vía (Hou et al. 2023; Shi et al., 2023; Zhao et al. 2024).

Los fenómenos como, la contaminación intergranular del balasto, el apoyo deficiente del durmiente y la rotura de partículas, inciden directamente en la respuesta del sistema balasto-plataforma en cuanto al deterioro de la calidad de la geometría de la vía; ciertamente las operaciones de bateo ayudan a corregir el apoyo deficiente del durmiente, sin embargo, la rotura de partículas genera un deterioro evolutivo de la calidad geométrica de la vía, lo que provoca una modificación en la curva granulométrica del material por un aumento de la cantidad de finos y genera contaminación intergranular (Estradé y López, 1990).

El mantenimiento del balasto en las vías férreas es una actividad que implica gran cantidad de recursos y tiempo, así como obstrucción de vía, por lo que, asegurar que se requiera la mínima cantidad de mantenimiento durante su vida útil resulta en un impacto económico positivo (Montoya, 2020).

En la estructura de la vía, la capa de balasto debe tener la capacidad de cumplir diferentes funciones entre las que se encuentran (Estradé y López, 1993; Galván, 2011; Montoya, 2020; NOM-003-ARTF-2023; Shi et al., 2023; Zhao et al. 2024):

- Estabilizar la vía vertical, transversal y longitudinalmente para impedir su desplazamiento.
- Soportar las cargas rodantes y transmitir las a la subrasante para que no se superen su capacidad portante y distribuirlas de tal forma que no se produzcan deformaciones excesivas.
- Garantizar la elasticidad y amortiguamiento, con el fin de reducir las fuerzas dinámicas sobre la vía y sobre el material rodante.
- Facilitar la permeabilidad y proteger a los suelos de la subrasante contra la acción de las heladas.
- Permitir la recuperación de la geometría de la vía mediante operaciones de alineamiento y nivelación.

En general, los mecanismos de falla del balasto en la vía férrea se pueden considerar como (Montoya, 2020; Shi et al., 2023):

- Degradación y contaminación: las fuerzas de contacto y las vibraciones provocan el desgaste del balasto generando finos, esto da como resultado que se eleve la velocidad de asentamientos en condiciones de humedad, la abrasión del balasto es característica de las vías de alta velocidad, mientras que la rotura de partículas se genera más en vías de transporte pesado.
- Estabilidad de la vía: la capa de balasto influye en el 65 % de la estabilidad en la vía debido a que resiste fuerzas perpendiculares a la vía (estabilidad lateral), fuerzas en dirección al paso del tren (estabilidad longitudinal) y fuerzas verticales producidas por los trenes (estabilidad vertical). La estabilidad lateral y longitudinal previenen el pandeo de la vía, mientras que la estabilidad vertical previene las deflexiones verticales.

- Daños durante el mantenimiento: el mantenimiento de la vía generalmente tiene la finalidad de corregir su geometría, pero estas maniobras pueden causar daño en las partículas de balasto debido a la abrasión, por lo que pueden producir finos adicionales.

Es importante considerar que, debido a las necesidades de alta calidad del balasto y que es un recurso natural, en algunos sitios comienza a escasear y en otros no es posible obtenerlo, lo que tiene un impacto tanto económico como ambiental.



2. ESTUDIOS PREVIOS

Guo et al. (2018), al estudiar los factores del efecto de la degradación, determinaron la forma de las partículas y evaluaron la granulometría antes y después de realizar el ensayo de desgaste de "Los Ángeles", en partículas de granito en tres rangos de tamaño, 25 mm-35 mm, 40 mm-50 mm y 50 mm-60 mm, observaron que las partículas alargadas y/o planas pierden más masa y volumen por la degradación de sus esquinas agudas y son más propensas a romperse que las partículas cúbicas.

Sun y Zheng (2017) realizaron pruebas triaxiales con dos frecuencias de carga cíclica en muestras saturadas de 600 mm de altura y 300 mm de diámetro, y encontraron que el aumento de la densidad de la muestra reduce la rotura de partículas y que el índice de rotura de Marsal disminuye a medida que aumenta el coeficiente de uniformidad.

Garnica et al. (1997), analizaron la rotura de partículas de un mismo material, para diferentes combinaciones granulométricas, y observaron que el agregado pétreo con distribución granulométrica uniforme sufre una rotura de granos mucho mayor que un material bien graduado, y que la uniformidad en la granulometría puede generar que el contacto entre las partículas ocurra a través de pocos puntos en los que se concentran las cargas y producir esfuerzos más altos que propician la rotura de partículas en el material.

Selig y Waters (1994) determinaron que las partículas que rellenan los espacios en la capa del balasto provienen en su mayoría (76 %) de la rotura y descomposición de las mismas partículas de la capa, lo que destaca la importancia del fenómeno de rotura en la deformación del balasto.



3. ENSAYO DE ROTURA DE PARTÍCULAS

El ensayo de ruptura de partículas se describe con detalle en Garnica et al. (1997), en resumen, el material se somete a 72 000 aplicaciones de carga cíclica en un molde de paredes rígidas, de tal manera que la carga se aplica en condiciones de trayectoria Ko, la carga aplicada se genera con ayuda del equipo servohidráulico utilizando ondas de tipo trapecial las cuales simulan el fenómeno de la carga del ferrocarril sobre la estructura ferroviaria. La frecuencia de aplicación de la carga en este caso correspondió a 0.84 ciclos/segundo para la siguiente configuración de carga: primera rampa, incremento de carga con velocidad de 24 t/s hasta alcanzar la carga de 12.0 t, posteriormente se mantiene la carga de 12.0 t por espacio de 0.1 s y finalmente se descarga con la misma velocidad hasta 0.0 t. La Figura 3 muestra el arreglo de prueba de rotura de partículas de balasto en el equipo servohidráulico. Antes de introducir el material en el molde de prueba se determina la granulometría inicial y después de la aplicación de carga cíclica se determina la granulometría final; en la Figura 4 se puede apreciar la comparación de las dos granulometrías para uno de los ensayos realizados, en color azul la original y en rojo la final.



Figura 3:
Arreglo de prueba de ruptura de partícula, aplicación de carga cíclica en ensayo de ruptura de partículas

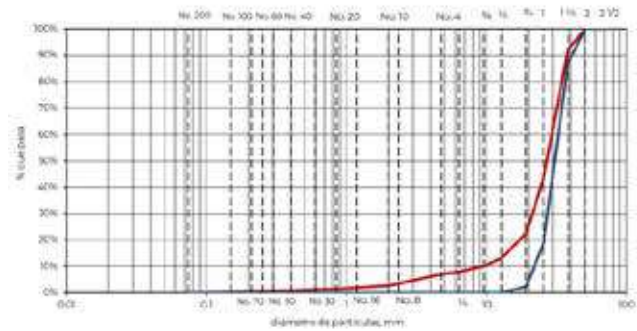


Figura 4:
Curva granulométrica del balasto antes y después del ensayo de ruptura de partículas

La curva granulométrica de la muestra de balasto después del ensayo se recorre hacia la izquierda, es decir se produce material más fino. En este caso particular la rotura de partículas se cuantificó como la cantidad de material que se produce adicionalmente por efecto de la carga cíclica aplicada para la malla de 3/4"; es decir, como la diferencia entre el material que pasa la malla 3/4" antes y después del ensayo (ΔP_{19mm}). Lo anterior se cuantificó de esta manera debido a que de la degradación del material de 3/4" se producen partículas que rellenan los espacios entre partículas más grandes, mismas que generan la reducción de la permeabilidad y de la resistencia al esfuerzo cortante en presencia de agua en la capa de balasto; de igual forma, se producen deformaciones permanentes indeseables para el comportamiento de la vía, particularmente en lo que se refiere al alineamiento vertical de la misma, aunque tiene influencia también en los alineamientos horizontal y longitudinal, además de producir rigidización indeseable de la capa de balasto.



4. ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE ROTURA DE PARTÍCULA

Diferentes autores coinciden en que, para que el balasto se comporte adecuadamente durante su vida útil, debe estar compuesto por partículas angulosas, con peso específico alto, resistencia al esfuerzo cortante alta, tenacidad y dureza elevadas, resistencia al intemperismo alta, superficie rugosa, partículas bien graduadas, además de contar con una compactación adecuada y un mínimo de microfisuramiento.

Varios investigadores han estudiado la rotura de partículas y propuesto diferentes índices para caracterizarla, por ejemplo, Marsal, 1967, propuso un índice de rotura, Bg, para cuantificar la rotura de los materiales de enrocamiento. Su método consiste en comparar la distribución granulométrica de los agregados antes y después de cada ensayo. A partir de los cambios registrados en la gradación de las partículas, se calcula la diferencia en el porcentaje retenido en cada tamaño de tamiz:

$$\Delta W_k = W_{ki} - W_{kf}$$

Donde: W_{ki} representa el porcentaje retenido en el tamaño de tamiz k antes del ensayo y W_{kf} es el porcentaje retenido en el mismo tamaño de tamiz después del ensayo.

En el presente trabajo se hace un análisis de la relación que guardan las características de calidad de los materiales provenientes de diferentes bancos de materiales contra la rotura de partículas, ΔP_{19mm} , determinada como se definió en párrafos anteriores.

En la Tabla 1 se presentan las características físicas y mecánicas del balasto analizado proveniente de diferentes bancos, los resultados de la evaluación de la rotura de partículas, así como los valores del diámetro promedio (D_{med}) y el coeficiente de uniformidad (CU) para la curva granulométrica del material antes del ensayo. El D_{med} corresponde al diámetro equivalente al promedio ponderado del tamaño de partículas para la curva granulométrica analizada.

Banco	Finos (%)	Gravedad específica	Absorción (%)	Desmenzables (%)	LAA (%)	Intemperismo (%)	Forma de la partícula (%)	D_{med} (mm)	Coefficiente de uniformidad	ΔP_{19mm} (%)
1	0.01	2.79	1.14	0.41	15.30	1.00	4.44	40.43	1.99	4.72
2	0.17	2.62	2.21	0.40	17.28	5.20	24.99	33.52	1.78	13.09
3	0.18	2.72	1.76	0.34	15.36	2.02	23.31	38.87	1.52	6.96
4	0.01	3.08	0.56	0.46	11.65	0.53	13.87	44.88	2.50	4.33
7	0.04	2.91	0.61	1.31	13.94	2.65	8.11	46.91	1.70	5.32
8	0.04	2.94	0.62	1.88	16.58	4.79	11.44	46.91	1.44	3.84
9	0.07	2.85	0.53	0.53	14.25	5.72	6.15	50.43	1.43	1.90
11	0.21	2.716	1.88	0.38	14.30	13.70	13.70	37.09	1.48	10.44
12	0.33	2.77	1.60	0.49	15.00	3.10	3.10	31.44	1.50	16.19
13	0.13	2.71	0.56	0.68	36.50	15.50	15.50	35.39	1.41	18.54
14	0.08	2.7	1.31	0.32	13.50	1.10	1.10	35.82	1.63	10.00
15	0.14	2.73	0.91	0.72	13.20	1.20	1.20	37.19	1.45	6.27

Tabla 1:

Propiedades del balasto, rotura de partículas ΔP_{19mm} , D_{med} y Cu para materiales analizados (Curriel, et al., 2023; Pérez y Curriel, 2025)

Con la finalidad de evaluar la influencia de cada propiedad física y mecánica del agregado pétreo en la rotura de partículas, se realizó un estudio de regresión mediante el análisis de correlación de Pearson considerando la rotura de partículas, ΔP_{19mm} , como la variable dependiente y los parámetros físicos y mecánicos obtenidos en el presente estudio para los diferentes bancos, con la finalidad de establecer cuáles propiedades poseen una correlación r fuerte (superiores a 0.8) y que presenten una correlación significativa a partir de valores de p menores que 0.05.

En ese sentido, y a partir de los análisis realizados, se encontró que la correlación más importante entre las propiedades de los agregados y la rotura de partículas, ΔP_{19mm} , se presenta para desgaste LAA, D_{med} , y la forma de la partícula.

Se encontró, además, que la rotura de partículas, ΔP_{19mm} , es mayor cuando se incrementa el desgaste LAA, la absorción, el intemperismo acelerado y la cantidad de partículas planas y alargadas. Por otro lado, ΔP_{19mm} disminuye cuando la densidad del agregado es mayor; aumenta la resistencia a la carga puntual, se incrementa el coeficiente de uniformidad, es decir, el material contiene mayor riqueza de tamaños, y el tamaño promedio de las partículas aumenta.



Esto último parecería ir en contra de diferentes estudios que se han realizado a este respecto en donde se ha encontrado que tamaños de partículas superiores producen más oportunidad de que las partículas se fracturen a causa de una mayor concentración de esfuerzos por una disminución de los contactos en el balasto, sin embargo y de acuerdo con lo aquí definido como la rotura de partículas, ΔP_{19mm} , y que corresponde a la cantidad adicional de partículas que pasan la malla de 3/4" después de la aplicación de la carga cíclica, se entiende debido a que, partículas mayores tendrán menos oportunidad de generar cantidades importantes de material que pasa la malla de 3/4" debido a que su rotura se desarrollará principalmente por la mitad o bloques cercanos a tal tamaño. El modelo que se obtuvo es el siguiente:

$$\Delta P_{19mm} = 0.505(\text{desgaste LAA}) + 0.178 (\text{planas y alargadas}) - 0.332(D_{med}) + 10.2$$

A partir del modelo obtenido, se observa que cuando aumenta el desgaste "Los Ángeles" (LAA) y la proporción de partículas planas y alargadas, más rotura de partículas se presentan en el agregado y para mayores diámetros promedio de partículas se disminuye la proporción de materiales que se fracturan por debajo de tamaños de partícula correspondientes a la malla 3/4". Derivado de lo anterior, es recomendable poner especial atención al desgaste de "Los Ángeles", la forma de la partícula y al tamaño promedio de los agregados, con la finalidad de disminuir su degradación y de igual forma disminuir los asentamientos y deformaciones de la vía por efecto del rompimiento de partículas; con ello se contribuirá además a favorecer el drenaje adecuado de la capa de balasto al evitar que los materiales finos obstruyan los vacíos que dejan las partículas con mayor tamaño.

En la Figura 5 se puede apreciar la relación entre los valores de rotura de partículas obtenidos para el material granular de cada banco analizado y los valores que predice el modelo aquí obtenido.

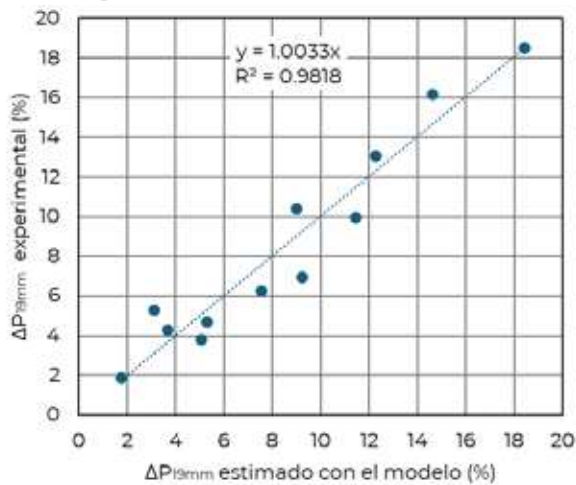


Figura 5:

Relación entre los valores de ΔP_{19mm} estimados con el modelo y los obtenidos de forma experimental





5. CONCLUSIONES

Se presenta la influencia de las propiedades físicas y mecánicas en la magnitud de rotura de partículas caracterizada como la diferencia entre la cantidad de materiales granulares en bancos de material de balasto ferroviario localizados en diferentes zonas del país; zonas en donde la administración federal tiene contemplado desarrollar proyectos de infraestructura ferroviaria.

En ese mismo sentido y con la finalidad de lograr una menor fractura de partículas, se recomienda realizar más estudios de la influencia del tamaño de partículas, toda vez que, en el presente estudio, se evidencia que mayor tamaño de partícula caracterizado por el diámetro medio (D_{med}), sugiere una menor producción de material indeseable (partículas menores que la malla de $3/4"$) al ser sometido a carga cíclica.

El desgaste Los Ángeles tiene una relación significativamente mayor en la ecuación aquí obtenida, toda vez que su coeficiente es mayor: el D_{med} tiene también una afectación importante en este comportamiento si lo que se busca es disminuir la proporción de material menor que 19 mm; finalmente, la forma de la partícula es tercer parámetro en su influencia para la rotura de partículas, por ello, también es importante realizar esfuerzos, para mejorar los procesos de trituración de los bancos, que abonen al cumplimiento de esta última característica.

Finalmente, se evidenció que la rotura de partículas, ΔP_{19mm} , es mayor cuando se incrementa el desgaste LAA, la absorción, el intemperismo acelerado y la cantidad de partículas planas y alargadas. Por otro lado, ΔP_{19mm} disminuye cuando la densidad del agregado es mayor, aumenta la resistencia a la carga puntual, se incrementa el coeficiente de uniformidad, es decir, el material contiene mayor riqueza de tamaños y el tamaño promedio de las partículas aumenta.

REFERENCIAS:

- Montoya, R. (2020). Metodología para la clasificación de tramos de vía ferroviaria para renovación del balasto a partir de información técnica. Medellín: Universidad EAFIT.
- Garnica, P., Gómez, J., y Suárez, L. (1997). Efecto de rotura de granos en material de balasto bajo carga repetida. [Publicación técnica No. 91]. México: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt91.pdf>
- Galván, J. (2011). Estudio por elementos finitos de la transición vía con balasto-vía en placa. España: Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech, UPCommons.
- Shi, C., Fan, Z., Connolly, D., Jing, G., Markine, V., y Guo, Y. (2023). Railway ballast performance: Recent advances in the understanding of geometry, distribution and degradation. *Transportation Geotechnics*, 41, 101042. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2023.101042>
- Guo, Y., Markine, V., Song, J., y Jing, G. (2018). Ballast degradation: Effect of particle size and shape using Los Angeles Abrasion test and image analysis. *Construction and Building Materials*, 169, 414-424. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.170>
- Lopez, A. (1981). Contribución al conocimiento del mecanismo de deterioro de vía férrea. *Revista de obras públicas*, 271-289. https://quickclick.es/rop/pdf/publico/1981/1981_abril_3191_04.pdf
- Estradé, J. y López, A. (1993). Antes y después de la aplicación de los métodos numéricos en la investigación del balasto. *Revista de obras públicas*, 140(3318), 67-74. <http://hdl.handle.net/2117/191988>
- Paderno, C. (2010). Comportement du ballast sous l'action du bourrage et du trafic ferroviaire. École Polytechnique Fédérale de Lousanne, EPFL.
- Estradé, J. y López, A. (1990). Planteamiento de una nueva metodología para el estudio del mecanismo de deterioro de la capa de balasto bajo la acción de cargas de tráfico ferroviario. *Revista de obras públicas*, 137(3290), 23-36. <https://hdl.handle.net/2117/192049>
- Ali, A., Hameed, A., y Ibrahim, S. (2013). Effect of railway track elements properties on stresses distribution. *International journal of structural and civil engineering research*, 2(2), 116-128.
- Miri, A., Dhanasekar, M., Thambiratnam, D., Weston, B., y Chan, T. (2021). Analysis of buckling failure in continuously welded railway tracks. *Engineering Failure Analysis*, 119, 104989. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104989>
- Selig, E. T., y Waters, J. M. (1994). *Track Geotechnology and Substructure Management*. Thomas Telford Publications.
- Hou, W., Li, A., y Song, W. (2023). Discrete element analysis of shape effect on the shear behaviors of ballast. *Scientific Reports*, 13(1), 14810. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42070-9>
- Zhao, W., Qiang, W., Yang, F., Jing, G., y Guo, Y. (2024). Data-driven ballast layer degradation identification and maintenance decision based on track geometry irregularities. *International Journal of Rail Transportation*, 12(4), 581-603. <https://doi.org/10.1080/23248378.2023.2228802>
- Agencia Reguladora de Transporte Ferroviario [ARTF]. (2024). NOM-003-ARTF-2023: Sistema Ferroviario-Seguridad-Clasificación y Especificaciones de Vía. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- Sun, Y., y Zheng, C. (2017). Breakage and shape analysis of ballast aggregates with different size distributions. *Particuology*, 35, 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2017.02.004>
- Marsal, R. (1997). Large Scale Testing of Rockfill Materials. *J. Soil Mech. Found. Div.*, 93(6), 383-388.
- Curiel, N., Pérez, A., Martínez, C., y Pérez, N. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de materiales de balasto de bancos mexicanos. [Publicación técnica No. 765]. México: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt765.pdf>
- Pérez, A. y Curiel, N. (2025). Estudio de las propiedades de materiales para su uso como balasto. [Publicación técnica No. 861]. México: Instituto Mexicano del Transporte. [Archivo PDF]. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt861.pdf>



TRAFIVOL

BASE AGUA • BASE SOLVENTE

Una carretera bien señalizada es una carretera SEGURA.
LÍDERES EN SEÑALAMIENTO DE TRÁFICO.

MÁXIMO DESEMPEÑO
Pintura para
señalamiento
de tráfico



- FÓRMULAS AVANZADAS
- CUMPLIMOS CON ALTOS ESTÁNDARES DE CALIDAD
- MEJOR DESEMPEÑO
- MAYOR DURACIÓN

Nuestros productos cumplen con las Normas
SCT N-CMT-5-01-001/23 y NMX-C-451-ONNCCE-2009.

OFICINA GUADALAJARA
Tels. 333 645 9406

PLANTA MORELIA
Tels. 443 323 1348, 443 323 1361

OFICINA MEXICO
Tels.: 555 564 5701, 555 564 7206

WHATSAPP
443 202 9024

www.volton.com.mx ventas@volton.com.mx



Colocación de
malla reforzada



Colocación de malla
de triple torsión



Colocación de
concreto lanzado



Drenes de
Penetración



Muro de
contención



Barrenación
y anclaje.



Tel: (473) 733 1518 WA: (473) 141 6939

estabilizacionesdelbajio.com

¿CÓMO PRIORIZAR INTERVENCIONES EN UNA RED VIAL COMPLEJA Y VULNERABLE?

Paul Garnica Anguas

RESUMEN

Una de las preguntas más difíciles —y más importantes— en la gestión de carreteras no es cómo reparar una vía, sino cuál reparar primero. Las redes viales suelen estar compuestas por cientos o miles de kilómetros de carreteras, muchas de ellas con grados diversos de deterioro, condiciones geotécnicas desafiantes, diferentes niveles de tráfico y, además, con presupuestos siempre limitados.

En este documento propongo un enfoque práctico, técnico y estratégico para priorizar intervenciones en redes viales, especialmente en contextos donde los suelos son problemáticos (blandos, expansivos), las cargas son intensas y la resiliencia vial es una prioridad.

1. ¿POR QUÉ ES TAN DIFÍCIL PRIORIZAR INTERVENCIONES?

Porque las variables son múltiples, y no siempre están organizadas ni se ponderan adecuadamente. Algunas carreteras pueden tener:

- Alto volumen de tráfico, pero buen desempeño estructural.
- Baja demanda logística pero alta vulnerabilidad geotécnica.
- Intervenciones recientes, pero mal diseñadas.
- Problemas severos que aún no se expresan superficialmente.

La decisión debe integrar varios criterios, no basarse solo en lo visible o en la presión política.

2. ENFOQUE MULTICRITERIO PARA PRIORIZACIÓN VIAL

Una metodología robusta combina al menos cinco dimensiones clave:

Dimensión	Indicador sugerido	Peso estimado (%)
1. Carga logística y funcional	AADT, % vehículos pesados, papel estratégico	30%
2. Vulnerabilidad geotécnica	Tipo de suelo, riesgo de asentamientos, zonas críticas	20%
3. Condición estructural	IRI, fallas superficiales, deflectometría, fisuras	20%
4. Impacto social y territorial	Accesos a comunidades, centros logísticos, hospitales	15%
5. Costo-eficiencia de la intervención	Costo por km rehabilitado vs. tiempo estimado de servicio	15%

Cada tramo o carretera puede evaluarse con una calificación del 1 al 5 por criterio, y la suma ponderada nos da una prioridad técnica justificada.

3. CRITERIOS PRÁCTICOS PARA CADA DIMENSIÓN

1. Carga logística y funcional
 - ¿Es parte de una red troncal, alimentadora, turística o rural?
 - ¿Transporta mercancía de alto valor logístico?
 - ¿Tiene acceso a aduanas, puertos o plataformas multimodales?
2. Vulnerabilidad geotécnica
 - ¿Se encuentra sobre suelos blandos, expansivos o con subsidencia?
 - ¿Tiene historial de fallas estructurales, hundimientos, inestabilidad de taludes?
 - ¿Qué tan afectable es por lluvia, filtraciones, nivel freático?
3. Condición estructural
 - ¿Presenta deformaciones, fisuras, baches, pérdida de nivel?
 - ¿Qué dicen los estudios de deflexión o radar de penetración?

- ¿Hay registros de intervenciones previas y su efectividad?
4. Impacto social y territorial
 - ¿Es vía única para una comunidad o zona productiva?
 - ¿Se usa para transporte escolar, salud o seguridad?
 - ¿Tiene alternativas viables o representa un cuello de botella?
 5. Costo-eficiencia
 - ¿Qué solución técnica se necesita y cuánto cuesta por km?
 - ¿Cuántos años de servicio recuperará esa inversión?
 - ¿Se puede escalar por fases o requiere intervención integral?



4. ESCENARIOS DE APLICACIÓN DEL MODELO

Este enfoque puede usarse en:

- Redes estatales o concesionadas, para justificar asignación de presupuesto.
- Contratos CMRO o de conservación rutinaria, para decidir dónde intervenir primero.
- Evaluaciones post-evento (sismo, lluvia extrema, deslizamiento) para priorizar recuperación.

Se puede representar gráficamente con mapas temáticos, sistemas SIG o tablas de priorización por tramo.

5. VENTAJAS DE UNA PRIORIZACIÓN ESTRUCTURADA

- Alinea las decisiones con criterios técnicos y logísticos.
- Justifica ante la autoridad o la ciudadanía por qué se interviene un tramo y no otro.
- Permite maximizar el retorno de la inversión en términos de funcionalidad, durabilidad y resiliencia.
- Favorece una gestión proactiva, basada en datos, no en presiones.

6. CONCLUSIÓN: PRIORIZAR NO ES FÁCIL, PERO ES IMPRESCINDIBLE

Cuando hay más tramos deteriorados que presupuesto disponible —que es lo habitual—, la única forma responsable de actuar es con criterios claros, integradores y defendibles.

La infraestructura vial debe dejar de gestionarse por reacción y pasar a una lógica de valor estratégico. Priorizar bien significa evitar el colapso de tramos clave, prolongar la vida útil donde hay oportunidad, y hacer visibles las carreteras invisibilizadas por falta de conectividad social.

¿Cómo priorizas en tu red? ¿Qué criterios técnicos o sociales has encontrado más difíciles de incorporar? Comparte tu experiencia y sigamos construyendo carreteras mejor gestionadas.





**Gestión de Ingeniería
y Proyectos Viales S.C.**

PRINCIPALES LÍNEAS DE ACTIVIDAD

- Elaboración de Proyectos Ejecutivos
- Estudios de Ingeniería de Tránsito
- Estudios de Gestión Ambiental
- Supervisión de Infraestructura Carretera
- Control de Calidad de Materiales
- Demarcación Horizontal
- Control de Calidad de Pintura de Tráfico



Bosques de Chapultepec N° 307
Arboledas 1era sección Celaya, Gto.
CP. 38060



gesipv@hotmail.com



(461) 615 6358

Transita con tu familia por una carretera verde

Estamos comprometidos con el medio ambiente y tu seguridad,
por ello en la **Autopista Salamanca-León** contamos con:
Energía solar en todas las casetas • Pavimentos sostenibles • Reciclaje de residuos
Senderos verdes • Vigilancia 24 hrs • Ambulancias



En Grupo México trabajamos
para unir familias y vincular negocios
Que tu destino sea seguro y sostenible



Impresión

- Carteles y banners para eventos, publicidad y presencia de marca.
- Folletería para promoción y difusión de productos y servicios.
- Etiquetas personalizadas para identificar productos o promocionar tu marca.

Vinil adhesivo y/o textil

- Impresión de logotipos y fuentes personalizadas.
- Corte de logotipos y fuentes en vinil adhesivo y textil.

Sublimación

- Souvenirs para eventos, publicidad y presencia de marca.
- Imágenes personalizadas sobre prendas de vestir con resolución de alta calidad ideales para la identificación del personal y/o eventos sociales.

Grabado con láser

- Logotipos y fuentes personalizadas.
- Imágenes de alta calidad grabado sobre múltiples superficies tanto sólidas como semi-sólidas.

Bordado

- Logotipos y fuentes personalizadas sobre prendas de vestir.

Servicios empresariales

- Confección y acabado de uniformes con sublimación de logotipos y fuentes personalizadas.
- Impresión por bordado de logotipos y fuentes personalizadas en alta calidad de imagen.
- Etiquetas personalizadas en vinil adhesivo para unidades vehiculares y/o equipo de trabajo.
- Etiquetas de precaución de seguridad vial con base magnética para unidades vehiculares.

**innovación,
eficiencia &
calidad.**

*Servicio
Personalizado*



Estamos para ayudarte a crear productos y experiencias que se adapten a tus necesidades.

Contáctanos

TOPOGRAFÍA 4.0: LA VANGUARDIA DIGITAL EN LA INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

Dr. Víctor Guillermo Flores Rodríguez
Universidad de Guanajuato.

RESUMEN

La Topografía 4.0 marca una era de transformación profunda en la ingeniería topográfica, caracterizada por la fusión de tecnologías disruptivas como la fotogrametría con drones, el escaneo láser 3D, los sistemas GNSS de alta precisión, la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (ML) y el Internet de las Cosas (IoT). Este artículo analiza la relevancia crítica de la Topografía 4.0 a lo largo del ciclo de vida de las vías terrestres, desde la fase de concepción y diseño hasta la construcción, el monitoreo continuo y el mantenimiento predictivo. Se examina como la generación de modelos de datos geoespaciales ricos y precisos, habilitada por estas tecnologías, facilita una toma de decisiones superior, optimiza la ejecución de proyectos, eleva los estándares de seguridad y prolonga la vida útil de la infraestructura vial. Se subraya la imperiosa necesidad de una adopción estratégica de estas herramientas y metodologías para abordar los retos de la modernización de las redes de transporte, posicionando a la Topografía 4.0 como un catalizador fundamental para la resiliencia y la eficiencia en el desarrollo de la infraestructura del futuro.

Palabras clave: Topografía 4.0, Infraestructura Vial, BIM, LiDAR, GNSS, Digitalización.

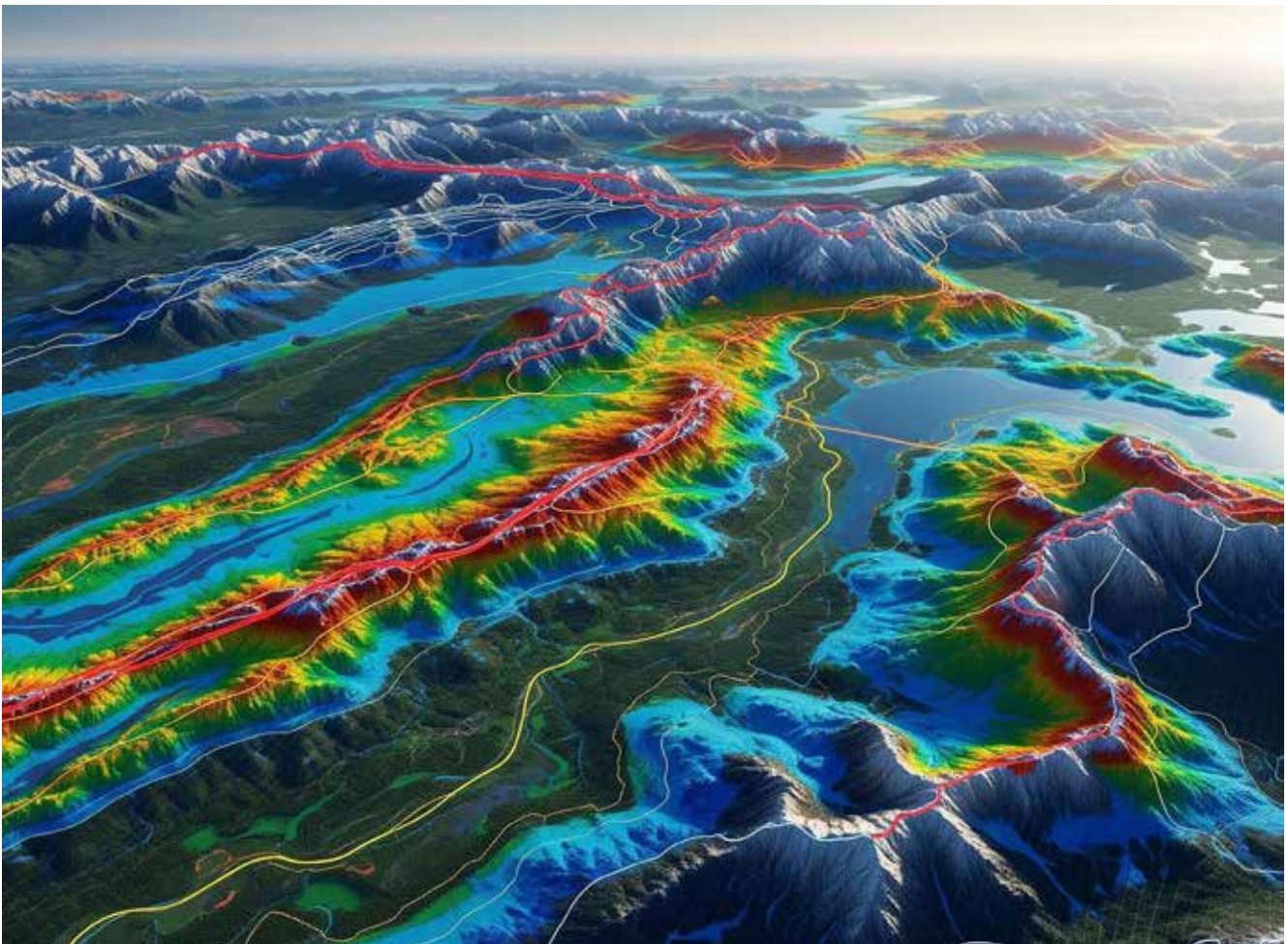
1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial constituye la espina dorsal de la conectividad global, impulsando el comercio, facilitando la movilidad social y sustentando el desarrollo económico. La concepción, construcción y conservación de estas arterias vitales son empresas de magnitud considerable, que exigen una meticulosa precisión y un conocimiento exhaustivo del entorno geográfico. Históricamente, la topografía ha sido el cimiento inquebrantable de tales proyectos, proveyendo la información espacial indispensable para su materialización. Sin embargo, en las últimas décadas, hemos sido testigos de una metamorfosis sin precedentes en las capacidades tecnológicas, lo que ha dado origen a lo que hoy conceptualizamos como Topografía 4.0. Este paradigma, en resonancia con la Cuarta Revolución Industrial, se distingue por la convergencia de sistemas ciberfísicos, el procesamiento de volúmenes masivos de datos y la automatización inteligente, (Getmapping, 2025).

En el ámbito específico de las vías terrestres, la Topografía 4.0 trasciende la mera mejora incremental; representa una reconfiguración fundamental de la manera en que estos activos son concebidos, desarrollados y gestionados. Se ha transitado de mediciones puntuales a la adquisición

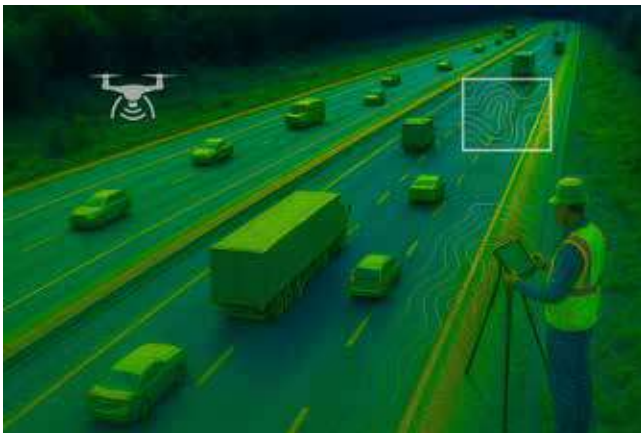
exhaustiva de datos tridimensionales; de la representación bidimensional en planos a la creación de modelos digitales tridimensionales enriquecidos con información semántica (BIM); y de la intervención manual intensiva a procesos crecientemente automatizados y autónomos. Esta evolución promete no solo una eficiencia operativa y una reducción de costos sin precedentes, sino también una mejora sustancial en la seguridad de los trabajadores y usuarios, la calidad constructiva y la sostenibilidad ambiental de las infraestructuras viales, (Duabidad, 2025).

La creciente demanda de infraestructuras viales resilientes, capaces de adaptarse a los desafíos del cambio climático, la expansión demográfica y la emergencia de nuevas modalidades de transporte, como los vehículos autónomos, requiere una topografía que no sólo determine el “dónde” sino que también descifre el “cómo” y el “porqué” de las condiciones del terreno y del entorno. La Topografía 4.0 emerge como la respuesta a esta exigencia, dotando a los ingenieros y planificadores de herramientas de vanguardia para abordar la intrínseca complejidad de los proyectos de vías terrestres, (Grupo Trato, 2025).



2. EL ECOSISTEMA INTEGRADO DE LA TOPOGRAFÍA 4.0

La implementación efectiva de la Topografía 4.0 en proyectos de vías terrestres se articula a través de un ecosistema interconectado de tecnologías y metodologías que operan en una sinergia sin precedentes. La fase de captura de datos ha experimentado una diversificación y enriquecimiento notables. Los sistemas de Posicionamiento Global por Satélite (GNSS), particularmente aquellos que incorporan correcciones en tiempo real (RTK/PPP), ofrecen una precisión centimétrica indispensable para el replanteo, el control de calidad y la monitorización de deformaciones en obra, (Getmapping, 2025).



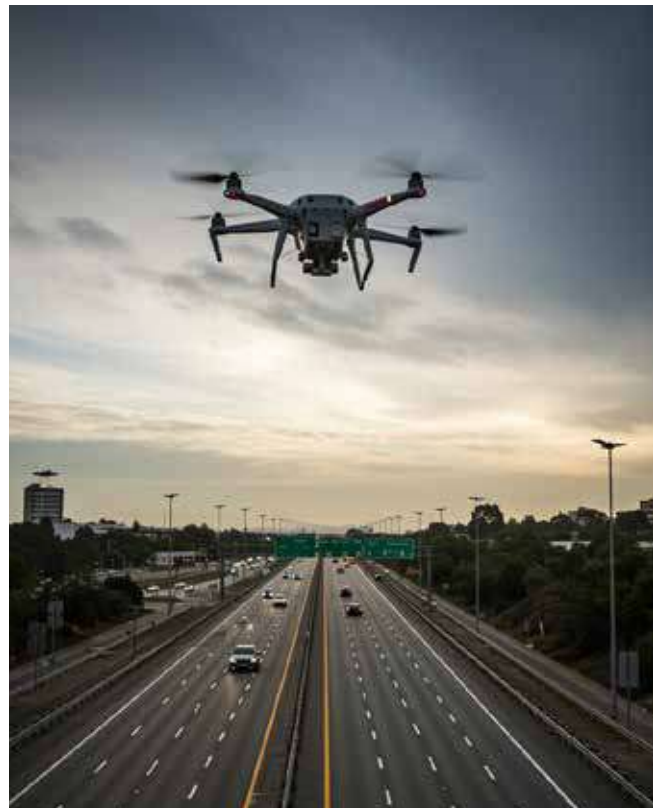
La fotogrametría digital con vehículos aéreos no tripulados (UAVs o drones) ha revolucionado la adquisición de datos aéreos, posibilitando la generación expedita de ortofotos de alta resolución, modelos digitales de elevación (DEM) y nubes de puntos densas sobre vastas extensiones de terreno. Esta capacidad es invaluable para el reconocimiento de rutas, la planificación de movimientos de tierra y el cálculo preciso de volúmenes, (Diospatial, 2025). En complemento, el escaneo láser terrestre (TLS) y, de manera más innovadora, los sistemas de mapeo móvil (MLS o Mobile Mapping Systems), proporcionan nubes de puntos con una densidad y una precisión extraordinarias, capturando detalles intrincados de la infraestructura existente y su entorno. Esto resulta crucial para proyectos de rehabilitación, ampliación y la gestión de activos viales, (Wang et al., 2019).

La gestión, el análisis y la visualización de estos volúmenes masivos de datos se orquestan mediante software especializado en modelado 3D, Sistemas de Información Geográfica (SIG) avanzados y, fundamentalmente, plataformas de Modelado de Información de Construcción (BIM). El BIM aplicado a infraestructuras (InfraBIM) trasciende la mera representación geométrica de la vía, al integrar atributos no gráficos como especificaciones de

materiales, estimaciones de costos, cronogramas de ejecución y datos de rendimiento. Esta integración holística fomenta una colaboración interdisciplinaria sin fisuras y una gestión integral del ciclo de vida del proyecto, (Routledge, 2025).

Adicionalmente, la Topografía 4.0 incorpora elementos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML) para la automatización del procesamiento de datos, la detección proactiva de anomalías, la clasificación de elementos del terreno y la optimización de rutas. El Internet de las Cosas (IoT), a través de una red de sensores embebidos en la propia infraestructura, permite el monitoreo en tiempo real de variables estructurales, patrones de tráfico y condiciones ambientales. Esta afluencia constante de datos en vivo es invaluable para implementar estrategias de mantenimiento predictivo y una gestión de riesgos más informada, (Quectel, 2025).

La metodología subyacente se centra en un flujo de trabajo digital continuo e ininterrumpido, que abarca desde la fase de planificación conceptual hasta la operación y el desmantelamiento. Esto implica la adhesión a estándares rigurosos de interoperabilidad de datos, la inversión en la capacitación del personal en estas nuevas herramientas y plataformas, así como la promoción de una cultura organizacional que fomente la colaboración y el aprovechamiento máximo de los datos como un activo estratégico.





3. LA TRANSFORMACIÓN OPERATIVA EN PROYECTOS VIALES

La implementación diligente de la Topografía 4.0 se traduce en una serie de resultados tangibles y beneficios de gran calado en la ejecución y gestión de proyectos de vías terrestres:

1. Precisión y detalle sin precedentes:

La sinergia entre GNSS de alta precisión, tecnología LiDAR y fotogrametría de drones permite la creación de modelos tridimensionales del terreno y de la infraestructura con un nivel de detalle y una exactitud que superan con creces las capacidades de los métodos convencionales. Esto se traduce en una reducción drástica de errores de diseño, una minimización de retrabajos costosos y una optimización sustancial en el uso de materiales de construcción.

2. Optimización radical de la planificación y el diseño:

Los modelos digitales 3D y BIM facilitan una visualización inmersiva del proyecto dentro de su entorno real, posibilitando evaluaciones más precisas de los impactos ambientales, sociales y económicos. La identificación temprana de conflictos potenciales y la optimización interactiva de los trazados se ven reflejados en ahorros significativos de tiempo y recursos. La capacidad de simular diversos escenarios y evaluar alternativas de diseño se realiza de manera ágil y altamente efectiva, mejorando la calidad del diseño final.

3. Eficiencia constructiva mejorada:

La integración fluida de datos topográficos precisos con la maquinaria de construcción equipada con sistemas de control de máquina (Machine Control Systems) permite una ejecución automatizada y extraordinariamente precisa de movimientos de tierra, operaciones de pavimentación y otras tareas críticas. Esto reduce drásticamente y eficientemente la dependencia de estacas y mediciones manuales en campo, acelerando significativamente los tiempos de construcción y elevando la calidad intrínseca de la obra, (HP, 2025).

4. Monitoreo y mantenimiento proactivo e inteligente:

La capacidad de realizar escaneos láser periódicos y el monitoreo continuo mediante sensores IoT permiten la identificación temprana de deformaciones, asentamientos, daños estructurales o desgastes superficiales en la infraestructura vial. Esta información en tiempo real habilita la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo y proactivo, lo que no solo prolonga sustancialmente la vida útil de las vías, sino que también reduce los costos asociados a reparaciones mayores y minimiza las interrupciones al flujo de tráfico, (Hammad Iqbal et al., 2024).

5. Incremento sustancial de la seguridad:

Una topografía precisa y actualizada mejora intrínsecamente la seguridad durante la fase de construcción al reducir la exposición del personal a situaciones de riesgo. En la fase de operación, la información geométrica detallada y en tiempo real de la vía es un componente fundamental para el desarrollo y la implementación de sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) y, en última instancia, para la operación segura y eficiente de vehículos autónomos.

6. Sostenibilidad y reducción del impacto ambiental:

La optimización de los diseños y la gestión eficiente de los recursos, facilitadas por las capacidades analíticas de la Topografía 4.0, contribuyen directamente a una menor generación de residuos, una reducción en el consumo de energía y combustibles, así como una minimización general del impacto ambiental asociado a los proyectos de vías terrestres.

CONCLUSIONES

La Topografía 4.0 no es simplemente una progresión tecnológica; es un imperativo estratégico y una fuerza motriz para el desarrollo y la gestión de la infraestructura vial en el siglo XXI. La capacidad sin precedentes para capturar, procesar y analizar vastos volúmenes de datos espaciales con una precisión y eficiencia inigualables ha revolucionado la forma en que concebimos y ejecutamos los proyectos de vías terrestres. Desde la optimización del trazado inicial hasta el monitoreo inteligente y continuo de la infraestructura, las herramientas y metodologías inherentes a la Topografía 4.0 ofrecen soluciones robustas y adaptables a los desafíos actuales y futuros de la ingeniería vial.

La integración armónica del modelado de información de construcción (BIM), el escaneo láser 3D, la fotogrametría con drones, los sistemas GNSS avanzados, la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas, ha cristalizado un ecosistema digital que empodera una toma de decisiones más fundamentada, mitiga significativamente los errores, optimiza los procesos constructivos y garantiza una mayor longevidad y seguridad para las vías terrestres. Como Ingenieros Topógrafos, nuestra responsabilidad ineludible es liderar esta transformación, no sólo dominando estas tecnologías emergentes, sino también innovando como forjando nuevas metodologías y estándares que maximicen su potencial transformador.

Proyectando la mirada hacia el futuro, la Topografía 4.0 está destinada a seguir siendo un motor inagotable de innovación en el sector de la infraestructura. La creciente automatización de la captura y el procesamiento de datos, el desarrollo de gemelos digitales en tiempo real que replican fielmente la realidad física de la infraestructura,

y una integración aún más profunda con sistemas de planificación urbana y de transporte inteligente, auguran un futuro donde las vías terrestres no solo serán eficientes y seguras, sino también intrínsecamente inteligentes, resilientes y adaptables. Es el momento de abrazar plenamente esta revolución digital y construir las autopistas del mañana con la precisión, la visión y la inteligencia que solo la Topografía 4.0 puede ofrecer.



BIBLIOGRAFÍA:

- Routledge. (24 de mayo de 2025). *Building Information Modelling (BIM)*. Routledge: https://www.routledge.com/rsc/downloads/BIM_FreeBook.pdf?srsId=AfmBOoqxEPSbrC9XHMwCwWKJnAXA5HxxAs6rsO2nElmtRjoJATEd-Fjp
- Diospatial. (25 de mayo de 2025). *Photogrammetry*. Diospatial: <https://www.diospatial.com/technologies/photogrammetry/>
- Duabitad. (27 de mayo de 2025). *Topografía: sus inicios y evolución hasta la topografía 4.0*. Duabitad: <https://www.duabitad.com/mosaico/topografa-sus-inicios-y-evolucion-hasta-la-topografa-40>
- Getmapping. (27 de mayo de 2025). *Digital Transformation: How geospatial data is helping tech-savvy organisations save time and money*. Getmapping: <https://www.getmapping.co.uk/digital-transformation-how-geospatial-data-is-helping-tech-savvy-organisations-save-time-and-money/>
- Grupo Trato. (27 de mayo de 2025). *La gran aportación de la topografía a la seguridad vial*. Grupo Trato: <https://grupotrato.com/blog/gran-aportacion-de-topografia-a-seguridad-vial>
- Hammad Iqbal, M., Bachan, N., Abdullah Khan, M., & Mushtaq Subhani, M. (2024). *Applications of UAVs and AI in Civil Engineering: A Systematic Review of Current Uses and Future Directions in Road Construction*. *Engineering*, 1-18. <https://doi.org/10.31224/4046>
- HP. (25 de mayo de 2025). *The Use of Robotics in Construction: Past, Present, and Future Trends*. HP: <https://www.hp.com/us-en/printers/site-print/use-robotics-in-construction-past-present-future-trends.html#:~:text=Drones%20and%20Autonomous%20Vehicles%20in,such%20as%20paving%20and%20compacting.>
- Quectel. (24 de mayo de 2025). *Insights on the IoT's development by industry experts, and reflections from our team on how their work drives success at Quectel*. Quectel: https://www.quectel.com/blog/?creative=720189813051&keyword=all%20about%20internet%20of%20things&matchtype=p&network=g&device=c&gad_source=1&gad_campaignid=21882892019&gbraid=0AAAAACMfdhxUcoq1YCHfSa5-QFRhVEgXD&gclid=CjoKCQjwxXBBhDEARIsAAUkP6hrtNAX_eo0DYU
- RADIAN. (27 de mayo de 2025). *Avances Tecnológicos en Topografía: Revolucionando la Medición de Terrenos*. RADIAN: <https://www.radian.com.es/avances-tecnologicos-en-topografia-revolucionando-la-medicion-de-terrenos>
- Wang, Y., Chen, Q., Zhu, Q., Liu, L., Li, C., & Zheng, D. (2019). *A Survey of Mobile Laser Scanning Applications and Key Techniques over Urban Areas*. *Remote Sensing*, 11(13), 1-20. <https://doi.org/10.3390/rs11131540>.

SERVICIOS DE CONSULTORÍA DE INFRAESTRUCTURA VIAL

PRINCIPALES LÍNEAS DE ACTIVIDAD

- Evaluación de pavimentos
- Supervisión de obras
- Ingeniería geotécnica
- Proyectos de movilidad integrada
- Proyectos de infraestructura
- **Mantenimiento de vialidades**
- **Control ambiental**
- **Estudios de factibilidad económica y financiera de proyectos**
- **Obras de infraestructura hidrosanitaria**



(473) 734 2000



ADMINISTRACION@SCVIAL.COM.MX



VIAL

Servicios de Consultoría
en Infraestructura Vial S.A. de C.V.

CARRETERA GUANAJUATO IRAPUATO NO 26. DEP ZONA 2 KILOMETRO 10.5. MZ 1. COL. SANTA TERESA CP 36260

WWW.SCVIAL.COM.MX



INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE

ASOCIACIÓN MEXICANA DE INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES
DELEGACIÓN GUANAJUATO

