



Año 4, Edición 18, Enero - Abril 2025.
Número ISSN asignado: 2992-6815

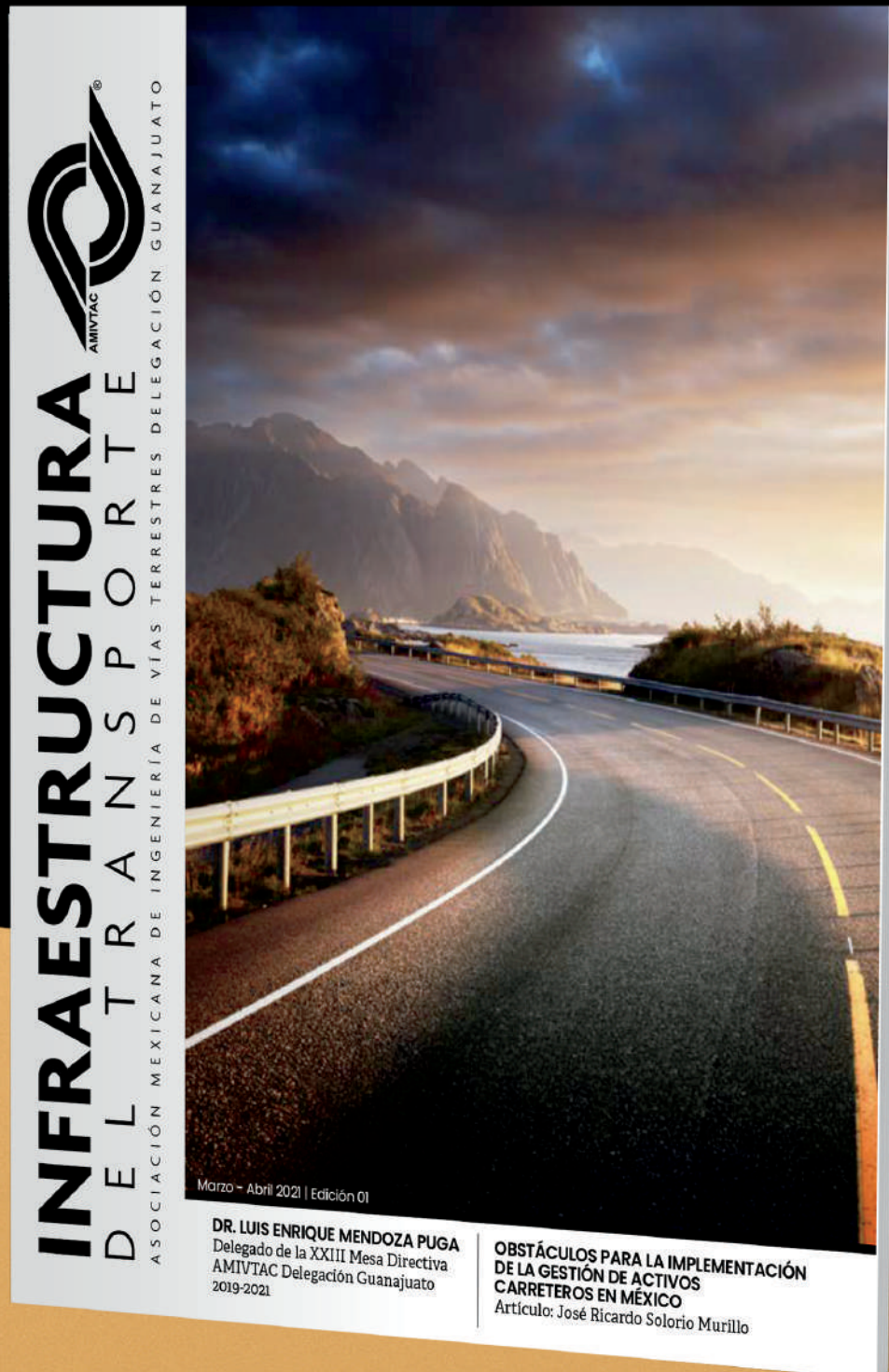
LIM. EDOS. QRO./GTO. - CELAYA

ENTREVISTA
MTRA. LAURA SUÁREZ MEDINA
Directora General de Servicios Técnicos
de la Secretaría de Infraestructura,
Comunicaciones y Transportes.

IA PARA LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA FERROVIARIA,
UNA REVISIÓN CRÍTICA: GRÁFICOS PSD
Mtro. en Vías Terrestres y Movilidad
José Antonio Guerrero Fernandez



LLEGA A MÁS PERSONAS DE LA INDUSTRIA



ANÚNCIATE CON NOSOTROS,
TENEMOS PRESENCIA A NIVEL NACIONAL

CONTENIDO

06

**ENTREVISTA
MTRA. LAURA SUÁREZ
MEDINA**

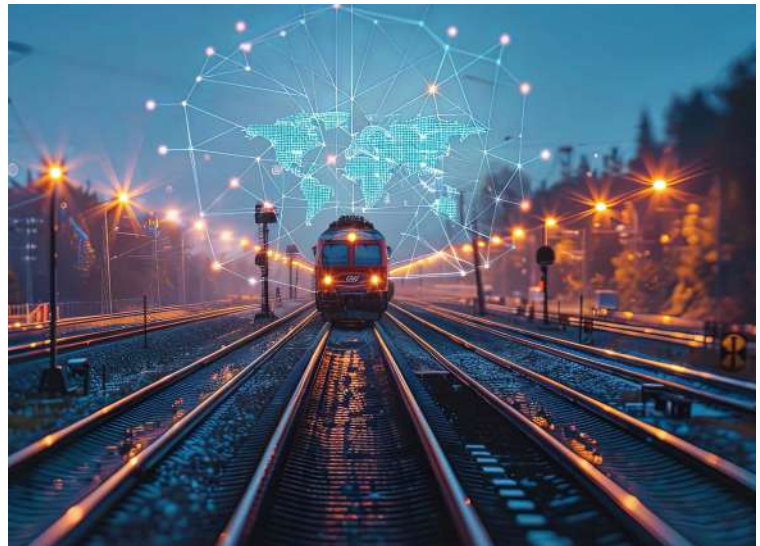
Directora General de Servicios
Técnicos de la Secretaría de
Infraestructura, Comunicaciones y
Transportes.



08

**IA PARA LA FORMACIÓN
EN INGENIERÍA
FERROVIARIA, UNA
REVISIÓN CRÍTICA:
GRÁFICOS PSD**

Autor: Mtro. en Vías Terrestres
y Movilidad
José Antonio Guerrero Fernandez



18

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA MEZCLA SUELO - CAL EN LABORATORIO

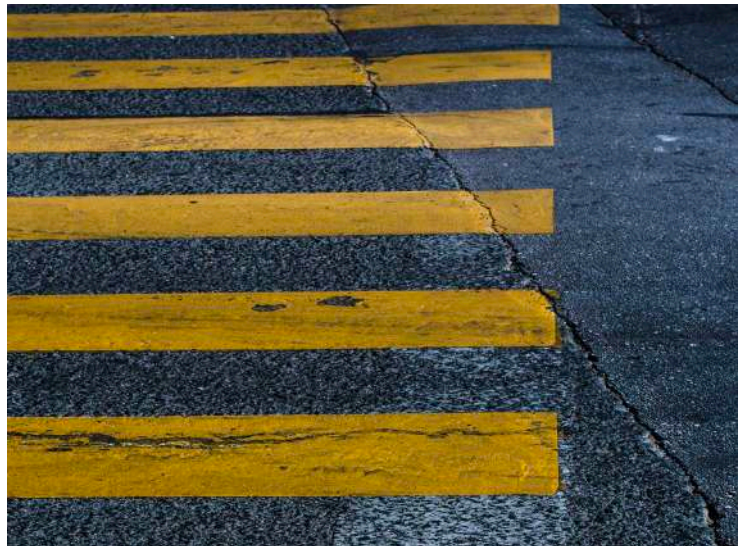
Ing. Civil José Luis Silva González



25

SEGURIDAD VIAL: ENFOQUE PREVENTIVO Y REACTIVO ANTE LA SINIESTRALIDAD DE UNA RED CARRETERA

Martha Carina Gutiérrez Méndez
Jonatan Uribe Torres
Secretaría de Obra Pública del
Estado 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 4, Edición 18, ENERO - ABRIL 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 4, No. 18, Enero - Abril 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 Abril 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: Lim. Edos. Qro./Gto. - Celaya

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:

En esta décimo octava edición de Infraestructura del Transporte reafirmamos nuestro compromiso con la difusión del conocimiento técnico y el impulso a la innovación en el sector. Cada entrega de esta revista busca fortalecer el diálogo entre la experiencia profesional, la investigación aplicada y la visión de futuro que caracteriza a la ingeniería mexicana.

Nos honra presentar la trayectoria de la Mtra. Laura Suárez Medina, ingeniera civil cuya carrera refleja el liderazgo técnico, ético y humano que distingue a nuestra profesión. Su participación en programas de seguridad estructural, su labor en la modernización de procesos técnicos y su compromiso con la formación de nuevas generaciones muestran cómo la ingeniería puede transformar realidades con responsabilidad y sensibilidad social.

En esta edición también se incluyen artículos de gran valor técnico. En "IA para la formación en ingeniería ferroviaria, una revisión crítica", se explora el uso de inteligencia artificial en la creación de materiales educativos, destacando su potencial y las limitaciones que requieren de la supervisión experta del ingeniero.

Por su parte, "Metodología para el diseño de una mezcla suelo-cal en laboratorio" presenta un procedimiento estandarizado que fortalece la confiabilidad de los resultados y optimiza recursos en proyectos de infraestructura.

Finalmente, "Seguridad vial: enfoque preventivo y reactivo ante la siniestralidad en una red carretera" analiza estrategias para identificar y atender puntos de conflicto, promoviendo una red vial más segura y eficiente.

Esta edición celebra el conocimiento compartido y el esfuerzo de quienes construimos, desde la técnica y la vocación, el futuro de la infraestructura del transporte en México.

Atentamente,

C.P. Dalia Eréndira Mendoza Puga

Presidenta AMIVTAC Delegación Guanajuato



MTRA. LAURA SUÁREZ MEDINA

**DIRECTORA GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS DE LA
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES.**

Entrevista y foto: Editorial

Desde temprana edad, la Mtra. Laura Suárez Medina mostró una profunda afinidad por las matemáticas y las ciencias exactas. Su curiosidad por comprender cómo las estructuras resisten, se transforman y conviven con su entorno la llevó a elegir la Ingeniería Civil como camino profesional. Atraída por la amplitud de esta disciplina —que combina el trabajo de gabinete con la experiencia en campo—, encontró en ella un espacio donde la precisión técnica se une con el propósito de mejorar la calidad de vida de las personas a través de la infraestructura.

A lo largo de su trayectoria, Suárez Medina ha consolidado una carrera que abarca tanto el ámbito público como el privado. Inició en programas de construcción de escuelas, participando en el diseño estructural y en la elaboración de proyectos, donde aprendió a equilibrar la creatividad con la optimización de recursos. Más adelante, se incorporó a empresas privadas especializadas en cálculo estructural, perfeccionando sus conocimientos en modelado tridimensional, análisis de cargas y materiales, así como en la gestión integral de proyectos. Esta experiencia dual le permitió desarrollar una visión completa del ciclo de vida de las obras de

“Compromiso, técnica y liderazgo al servicio de la ingeniería civil mexicana”

infraestructura, desde la planeación y diseño hasta la supervisión y mantenimiento.

Uno de los hitos más relevantes de su carrera fue la obtención del carnet de corresponsable de seguridad estructural, un examen altamente exigente que valida los conocimientos técnicos y la capacidad de análisis de quienes se dedican a garantizar la seguridad de las edificaciones. Alcanzar este reconocimiento, siendo además una de las pocas mujeres en lograrlo en México, refleja no sólo su dominio técnico, sino también su compromiso con la excelencia profesional y la responsabilidad ética que caracteriza a la ingeniería civil.



Suárez Medina ha participado activamente en programas de seguridad estructural y dictaminación de edificaciones, desempeñando un papel fundamental durante las labores posteriores al sismo de 2017. Su experiencia fue clave en la evaluación de daños, la elaboración de dictámenes técnicos y la coordinación de proyectos de rehabilitación. A través de un trabajo riguroso y humano, contribuyó a definir estrategias de reparación y reconstrucción que equilibraron la viabilidad técnica con las necesidades sociales de las comunidades afectadas. Para ella, la ingeniería no se trata solo de cálculos, sino también de empatía, responsabilidad y visión de futuro.



Consciente de los retos que enfrenta el sector, la Mtra. Suárez Medina ha impulsado la modernización de los procesos técnicos y administrativos dentro de los equipos en los que colabora. Ha promovido la adopción de herramientas digitales, la estandarización de procedimientos y la capacitación continua de profesionales jóvenes, fomentando una cultura de eficiencia, innovación y transparencia. Su liderazgo destaca por su capacidad para integrar equipos multidisciplinarios, guiarlos con enfoque estratégico y mantener siempre como prioridad la seguridad estructural y el bienestar social.

A la par de su desarrollo profesional, ha sabido equilibrar su vida personal y familiar, demostrando que la maternidad y la ingeniería pueden coexistir con éxito cuando se trabaja con pasión, disciplina y propósito. Su historia es testimonio de que la constancia, la preparación y el compromiso son los pilares que permiten alcanzar la excelencia en una profesión que demanda entrega y precisión.

La Mtra. Laura Suárez Medina representa el perfil del ingeniero contemporáneo: técnico, ético y humano. Su visión se enfoca en construir una ingeniería civil más sólida, equitativa y sostenible, que responda a los desafíos actuales del país con innovación y responsabilidad social. Con una carrera basada en la integridad, la excelencia y el servicio, continúa dejando huella en cada proyecto que lidera y en cada profesional que inspira, reafirmando que la ingeniería, más que una carrera, es una vocación para transformar realidades y fortalecer el futuro de México.

IA PARA LA FORMACIÓN EN INGENIERÍA FERROVIARIA, UNA REVISIÓN CRÍTICA: GRÁFICOS PSD.

Autor: Mtro. en Vías Terrestres y Movilidad José Antonio Guerrero Fernández

RESUMEN

En este documento, se realizó un experimento con ChatGPT para crear material educativo sobre gráficos PSD y su aplicación en el monitoreo de la geometría de vías férreas. El autor instruyó metódicamente a la IA para que generara contenido, explicaciones, ejemplos y herramientas de evaluación, para un curso sobre deterioro ferroviario. Si bien la IA generó información relevante con éxito, el autor identificó varias imprecisiones, como referencias bibliográficas incorrectas, una cita estándar europea obsoleta y errores conceptuales en la descripción de los equipos de inspección de vías y la categorización de defectos. El documento destacó el proceso de interacción con la IA, los resultados generados y las correcciones necesarias realizadas para garantizar la precisión del recurso educativo final.

1. INTRODUCCIÓN

En este experimento, se interactúa con una Inteligencia Artificial Generativa (IA) para el desarrollo de un tema específico de la clase “Deterioro de la vía férrea”, con la finalidad de exponerlo a los alumnos de ese curso.

En la interacción con la IA, se selecciona el tema “Gráficas espectrales de densidad de potencia” (PSD), como se ve en los siguientes apartados de este trabajo.

Para el desarrollo de la presente actividad se sigue la secuencia que a continuación se enlista. Cada secuencia enlistada se acompaña de una breve explicación, tal como se muestra a continuación. Para los lectores interesados en el tema, la presentación con diapositivas obtenida está disponible bajo solicitud por escrito al autor.

1.1 Selección de un tema específico y acotado

Se elige un tema de la asignatura “Deterioro de la vía férrea” para desarrollar el recurso educativo con una IA.

1.2 Diseño prompts para cada componente

Los prompts, son las instrucciones precisas con las que se alimenta a la IA, con la finalidad de que esta genere cada parte del recurso educativo.

1.3 Utilizar la IA para generar contenido

Se aplican los prompts previamente diseñados para obtener el material base del recurso educativo.

1.4 Revisión y edición del material generado

Se realiza una verificación de la precisión a la información que genera la IA, y se realizan los ajustes necesarios a esta.

1.5 Preparar una breve presentación del recurso creado.

Se organiza el material, y se crea una presentación con diapositivas, con la finalidad de exponerlo con el grupo de estudiantes que cursan la materia “Deterioro de la vía férrea”.

1.6 Elementos adicionales

Se desarrolla un recurso educativo completo para un tema específico de la asignatura “Deterioro de la vía férrea” mediante el uso de modelos generativos.

Componentes que se desarrollan: breve material teórico, ejercicio con solución detallada, actividad de evaluación (cuestionario, problema, etcétera), rúbrica o criterios de evaluación.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de la actividad, siguió el orden de la secuencia que se expuso en el epígrafe anterior. Este apartado se dedicó a la exposición de este proceso.

2.1 Tema seleccionado y acotación

Se seleccionó el tema “gráficas de densidad espectral de potencia para evaluar la geometría de la vía férrea”.

Los objetivos del desarrollo del tema, se acotaron a lo siguiente:

- a. Breve introducción a las gráficas de densidad espectral de potencia.
- b. La metodología para obtener las gráficas de densidad espectral de potencia en la vía férrea.
- c. La interpretación de las gráficas de densidad espectral de potencia.

2.2 Diseño de prompts para cada componente creado.

Los prompts o instrucciones que se alimentaron a la IA seleccionada para realizar la actividad se enlistan a continuación. Estos se presentan de la siguiente manera: en primer lugar, se transcribe la instrucción tal cual como se alimentó a la IA, a continuación del prompt, se da una breve explicación del motivo por el cual se seleccionó dicho texto para interactuar con la IA.

Primer prompt

"Hola. Las siguientes preguntas, y solicitudes, que te haré, son para un trabajo académico. Así que, por favor, únicamente dame respuestas que estén sustentadas con referencias bibliográficas verificables, haz la correspondiente cita bibliográfica en cada una de tus afirmaciones y menciona, al final de cada respuesta la referencia bibliográfica.

Si no cumples, o no puedes cumplir estos requisitos, en alguna de tus respuestas, límitate a responder: "no cuento con información al respecto, así que no puedo comentar sobre ese tema". ¿Quedó claro?

Esta instrucción se utilizó para que la IA acote sus respuestas a aquella información disponible en la internet que sea comprobable por el usuario.

Segundo prompt

"Como resultado de la auscultación a la geometría de las vías férreas, se obtienen una serie de gráficas que indican la posición del carril izquierdo y carril derecho de la pista, tanto en el alineamiento horizontal, como transversal y vertical. ¿Es correcto?"

El objetivo de esta instrucción, fue contextualizar a la

IA sobre el tema que se desarrolló posteriormente, es decir, el tópico específico seleccionado, como se mencionó en el apartado 2.1 de este trabajo.

Tercer prompt

"Por favor, dame un ejemplo de estas gráficas, explícalas textualmente y, además, proporcioname un ejemplo gráfico que las ilustre".

El objetivo de esta instrucción, fue reforzar el contexto a la IA. Se estima que, gracias a este prompt se dejó el precedente, dentro de la memoria temporal de la IA, de que existe una clara diferenciación entre las gráficas convencionales que se obtienen tras la auscultación geométrica de la vía y las gráficas PSD.

Cuarto prompt

"Ahora bien, para el diagnóstico de la condición geométrica de la vía, además de los gráficos que me mencionaste, también se utilizan "gráficas de densidad espectral de potencia". ¿Cierto o falso?"

Se formuló esta instrucción como último control, para corroborar que la IA expondrá, mientras continuó la interacción con ella, datos que atañen en específico al tema de las gráficas PSD.

Quinto prompt

"Ahora que ya tienes el contexto, por favor, describe una breve introducción (máximo 200 palabras) a las gráficas de densidad espectral de potencia y su aplicación a la auscultación geométrica de las vías férreas".

Esta instrucción se le dio a la IA, una vez que se corroboró que está correctamente contextualizada en el tema específico seleccionado. Con esta instrucción, se cumplió la primera acotación del tema seleccionado.

Sexto prompt

"Por favor, genera un ejemplo ilustrativo de una gráfica PSD aplicada a perfil longitudinal o alineación de una pista ferroviaria."

Esta instrucción se formuló para que la IA refuerce gráficamente lo que expuso en el prompt precedente.

Séptimo prompt

"Ahora bien, por favor, describe brevemente la manera en cómo se realiza el trabajo de campo que lleva a la formulación de las gráficas PSD".

La instrucción se le dio a la IA, para cumplir el segundo objetivo del tema seleccionado.

Octavo prompt

"Dame, por favor, una fotografía de un vehículo de inspección especializado que realice la auscultación geométrica de la vía férrea, y esté equipado con los sensores de alta precisión que mencionas. Además, dame, por favor, fotografías independientes, que muestren el acelerómetro, el sistema láser, el giroscopio y el GNSS, montados en dicho vehículo de inspección".

Con este prompt se logró que la IA enriqueciera la respuesta que dio a la instrucción anterior, además de que se reforzó la información para el segundo objetivo del tema seleccionado.

Noveno prompt

"Ahora, por favor, explica brevemente, máximo 200 palabras, con apoyo gráfico (por favor, dame dichas gráficas en tu respuesta), cómo se deben interpretar las gráficas PSD de una auscultación geométrica de vía férrea."

Gracias a esta instrucción, se logró cumplir el tercer objetivo de este trabajo.

Décimo prompt

"Gracias. Ahora, por favor, en base a lo que has expuesto sobre las gráficas PSD aplicadas a la auscultación geométrica de vías férreas, elabora un cuestionario de 10 preguntas, e incluye la respuesta debajo de cada pregunta entre paréntesis."

Con este prompt, se cumplió el segundo componente a desarrollar, de acuerdo a lo que se solicitó en el apartado 1.6 de este documento. Nótese que el cuestionario que se solicitó, únicamente debe cubrir los temas que atañen a las PSD, con lo cual se dejó fuera lo que la IA expuso como respuesta a los primeros cuatro prompts que se le indicaron.

Decimoprimero prompt

"Elabora, por favor, la rúbrica (con criterios de evaluación) para evaluar la aplicación del cuestionario que recién me proporcionaste."

Con esta última instrucción, se da cumplimiento a la totalidad de la actividad motivo de este trabajo.

2.3 Utilizar IA para generar contenido

En el presente trabajo se optó por utilizar la IA "ChatGPT". El contenido que se generó, se presenta en el apartado de resultados del presente trabajo.

2.4 Revisión y edición el material generado creado.

Conforme se avanzó en la interacción con la IA, se realizó copiado y pegado, tanto de las instrucciones dadas a la IA, como de las respuestas que esta generó. Se dio lectura y revisó cada una de las respuestas que ofreció ChatGPT. Se encontraron tres incongruencias, las cuales se corrigieron previo a crear la presentación que servirá para exponer en la clase. Las incongruencias que se detectaron, así como su corrección, se presentan en el apartado de resultados de este documento.

2.5 Preparar una breve presentación del recurso

Una vez que se revisó y corrigió el material que generó la IA, se elaboró la presentación que se expondrá en la clase. Se utilizó el programa Power Point para crear las diapositivas de la presentación. Para los lectores interesados en el tema, la presentación con diapositivas obtenida está disponible bajo solicitud por escrito al autor.

2.6 Elementos adicionales

Dentro de la presentación final, se incluyeron los componentes solicitados dentro de estas instrucciones adicionales, a saber: i) material teórico, ii) cuestionario con respuestas, y, iii) rúbrica de evaluación. Este material se incluyó en el apartado de "resultados" del presente artículo.

3. RESULTADOS

En este epígrafe se muestran los resultados que arrojó la IA seleccionada para realizar la actividad. Estos resultados se presentan en el mismo orden de los prompts, o instrucciones, que se enlistaron en el apartado 2.2.

Primer prompt

"Hola. Las siguientes preguntas, y solicitudes, que te haré, son para un trabajo académico. Así que, por favor, únicamente dame respuestas que estén sustentadas con referencias bibliográficas verificables, haz la correspondiente cita bibliográfica en cada una de tus afirmaciones y menciona, al final de cada respuesta la referencia bibliográfica.

Si no cumples, o no puedes cumplir estos requisitos, en alguna de tus respuestas, límitate a responder: "no cuento con información al respecto, así que no puedo comentar sobre ese tema". ¿Quedó claro?"

Respuesta de la IA:

ChatGPT: Sí, quedó completamente claro.

A partir de este momento, responderé tus preguntas únicamente con información sustentada en referencias bibliográficas verificables. Incluiré citas dentro del texto

cuando corresponda, y mencionaré la referencia completa al final de cada respuesta. Si en algún caso no dispongo de información respaldada por fuentes confiables, me limitaré a responder: "no cuento con información al respecto, así que no puedo comentar sobre ese tema."

Puedes comenzar con tu primera pregunta o solicitud.

Segundo prompt

"Como resultado de la auscultación a la geometría de las vías férreas, se obtienen una serie de gráficas que indican la posición del carril izquierdo y carril derecho de la pista, tanto en el alineamiento horizontal, como transversal y vertical. ¿Es correcto?"

Respuesta de la IA:

ChatGPT: Sí, es correcto afirmar que, como resultado de la auscultación geométrica de las vías férreas, se obtienen gráficas que indican la posición del carril izquierdo y derecho en los tres planos principales: horizontal (alineamiento), vertical (perfil longitudinal) y transversal (nivel y peralte). Estas mediciones permiten identificar deformaciones y defectos que afectan la seguridad y el confort del tránsito ferroviario.

Explicación:

La auscultación geométrica consiste en medir parámetros que definen la geometría de la vía, como:

- Desalineación horizontal (o alineación lateral): desplazamientos de los carriles respecto a una línea base teórica.
- Perfil longitudinal (o nivel): irregularidades verticales a lo largo del eje de la vía.
- Nivel transversal y peralte: diferencias de altura entre carriles (nivel) y el ángulo transversal en curvas (peralte).

Estos datos se presentan generalmente en forma de gráficas o registros continuos, separados por carril (izquierdo y derecho), lo cual permite detectar con precisión zonas que requieren mantenimiento.

REFERENCIAS:

- González-Manteca, J., & Ortega, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento ferroviario*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. Zaltbommel: MRT-Productions.

La información proporcionada por la IA es correcta, ya que se corroboró en Esveld (2001). Sin embargo, en esta respuesta de la IA, se detectó la primera incongruencia. La referencia bibliográfica a "González-Manteca", no se encontró disponible en la internet. Además, quien suscribe el presente trabajo, no conoce dicha bibliografía.

Tercer prompt

"Por favor, dame un ejemplo de estas gráficas, explícalas textualmente y, además, proporcioname un ejemplo gráfico que las ilustre".

Respuesta de la IA:

Imaginemos una sección de vía recta de 1,000 metros de longitud. Los datos se obtienen mediante un sistema láser o inercial montado sobre un tren auscultador, que mide con alta precisión parámetros como el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y el nivel transversal para cada carril (izquierdo y derecho).

1. Gráfica de Alineamiento Horizontal (Left and Right Rail Alignment)

- **Eje X:** posición a lo largo de la vía (en metros).
- **Eje Y:** desviación lateral del carril con respecto a la línea teórica (en milímetros).
- **Líneas:** una para el carril izquierdo (color azul, por ejemplo) y otra para el derecho (color rojo).
- **Interpretación:** Ondulaciones o picos indican desviaciones que pueden provocar inestabilidad o desgaste prematuro.

2. Gráfica de Perfil Longitudinal (Vertical Profile)

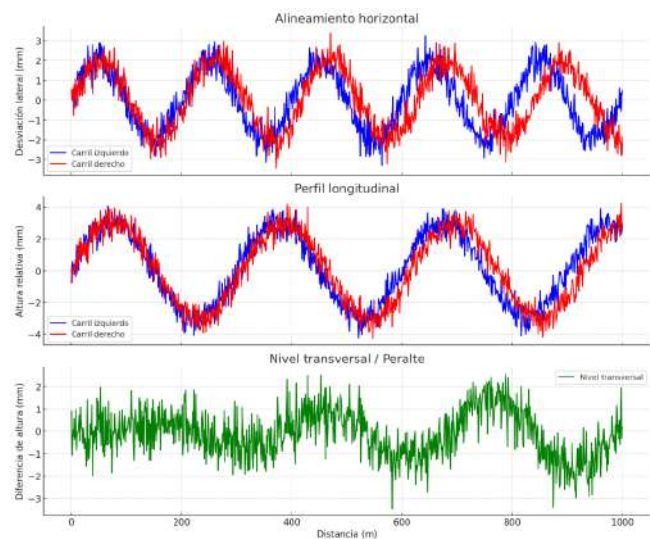
- **Eje X:** distancia recorrida (m).
- **Eje Y:** altura relativa de cada carril (mm), respecto a un plano de referencia.
- **Líneas:** perfil vertical del carril izquierdo y derecho.
- **Interpretación:** Deformaciones verticales como "hundimientos" o "levantamientos" son fácilmente visibles.

3. Gráfica de Nivel Transversal y Peralte

- **Eje X:** distancia (m).
- **Eje Y:** diferencia de altura entre ambos carriles (mm).
- **Línea única:** valor del nivel o peralte (positivo cuando el carril exterior está más alto).
- **Interpretación:** Cambios abruptos en peralte pueden indicar problemas en la transición entre zonas rectas y curvas.

Figura 1:

Ejemplo de gráficas tras auscultación de vía



Fuente: ChatGPT (2025)

La información proporcionada por la IA es correcta, ya que se corroboró en Esveld (2001). Pero, se detectó la segunda incongruencia. La IA no ofreció referencias bibliográficas, contrario a lo que se le instruyó en el primer prompt.

Cuarto prompt

"Ahora bien, para el diagnóstico de la condición geométrica de la vía, además de los gráficos que me mencionaste, también se utilizan "gráficas de densidad espectral de potencia". ¿Cierto o falso?

Respuesta de ChatGPT

Cierto.

Las gráficas de densidad espectral de potencia (Power Spectral Density, PSD) son efectivamente utilizadas en el diagnóstico de la condición geométrica de la vía férrea, especialmente para analizar las irregularidades geométricas en el dominio de la frecuencia, en lugar del dominio espacial (como ocurre en los gráficos convencionales de alineación o perfil).

¿Por qué se usan las gráficas de densidad de potencia en el diagnóstico ferroviario?

- Permiten identificar patrones periódicos en las deformaciones de la vía, como ondas cortas o largas, que pueden no ser evidentes en el dominio espacial.
- Son especialmente útiles para detectar defectos recurrentes, problemas de resonancia, o deformaciones generadas por maquinaria o diseño de vía (p. ej., asentamientos cíclicos en juntas o durmientes).
- Se utilizan en combinación con los registros espaciales (gráficos tradicionales) para complementar el análisis.

Ejemplo técnico

Cuando se mide el perfil longitudinal de un carril en un tramo de vía, la aplicación de un análisis espectral (como una Transformada de Fourier) permite obtener una gráfica PSD, donde:

- El eje X representa la frecuencia espacial (o su inverso, la longitud de onda, en m^{-1} o m).
- El eje Y muestra la densidad de potencia (en mm^2/m o mm^2/Hz), que indica la intensidad de la irregularidad para cada componente de frecuencia.

REFERENCIAS:

- González-Manteca, J., & Ortega, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento ferroviario*. Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. Zaltbommel: MRT-Productions.

La información proporcionada por la IA es correcta, ya que se corroboró en Esveld (2001). Sin embargo, en esta respuesta de la IA, se detectó, de nuevo, la primera incongruencia. La referencia bibliográfica a "González-Manteca", no se encontró disponible en la internet. Además, quien suscribe el presente trabajo, no conoce dicha bibliografía

Quinto prompt

"Ahora que ya tienes el contexto, por favor, describe una breve introducción (máximo 200 palabras) a las gráficas de densidad espectral de potencia y su aplicación a la auscultación geométrica de las vías férreas".

Respuesta de ChatGPT

ChatGPT: Las gráficas de densidad espectral de potencia (PSD, por sus siglas en inglés) son herramientas utilizadas para analizar la geometría de las vías férreas en el dominio de la frecuencia, en lugar del dominio espacial tradicional. A través de la Transformada de Fourier, estas gráficas descomponen el perfil longitudinal o la alineación de los rieles en sus componentes según la longitud de onda, permitiendo identificar irregularidades periódicas que podrían pasar desapercibidas en los gráficos convencionales.

En el contexto de la auscultación geométrica ferroviaria, las gráficas PSD se aplican al análisis de datos recolectados por trenes auscultadores o sistemas embarcados, para detectar deformaciones recurrentes o resonancias generadas por defectos sistemáticos, como el espaciamiento irregular entre durmientes, asentamientos cíclicos o desgaste en zonas de transición. Su uso es clave para evaluar el impacto dinámico que estas irregularidades pueden tener sobre la seguridad, confort y mantenimiento de la vía, especialmente en sistemas de alta velocidad.

REFERENCIAS:

- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. MRT-Productions.
- González-Manteca, J., & Ortega, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento ferroviario*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- EN 13848-3:2013. *Railway applications – Track geometry quality – Part 3: Measuring systems*.

La información proporcionada por la IA es correcta, ya que se corroboró en Esveld (2001) y en UNE (2022), no obstante, existe una versión de la norma europea EN-13848-3 más actualizada (UNE, 2022). De nueva cuenta, en esta respuesta de la IA, se detectó la primera incongruencia: la referencia bibliográfica a "González-Manteca", no se encontró disponible en la internet. Además, quien suscribe el presente trabajo, no conoce dicha bibliografía.

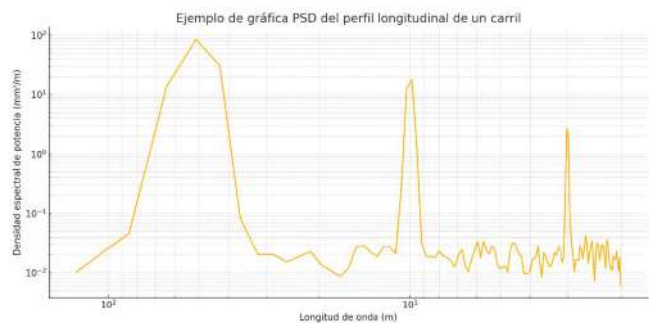
Sexto prompt

"Por favor, genera un ejemplo ilustrativo de una gráfica PSD aplicada a perfil longitudinal o alineación de una pista ferroviaria."

Respuesta de ChatGPT

Aquí tienes un ejemplo ilustrativo de una gráfica de Densidad Espectral de Potencia (PSD) aplicada al perfil longitudinal de un carril ferroviario.

Figura 2:
Ejemplo de gráficas PSD



Fuente: ChatGPT (2025)

Interpretación de la gráfica:

- Eje X (Longitud de onda en metros): representa las irregularidades clasificadas según su escala (ondas largas, medias y cortas). El eje está invertido (como es habitual) para que las ondas largas (baja frecuencia) aparezcan a la izquierda.
- Eje Y (Densidad espectral de potencia en mm^2/m): indica la intensidad de las irregularidades a cada longitud de onda.

- Picos en la gráfica: revelan la presencia de componentes dominantes en ciertas longitudes de onda, lo cual puede asociarse a defectos periódicos (p. ej., juntas de riel, espaciamiento entre durmientes, etc.).

Esta herramienta es fundamental para evaluar cómo ciertas irregularidades afectan la dinámica del tren, en función de la respuesta del sistema vía-vehículo.

REFERENCIAS:

- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. Zaltbommel: MRT-Productions.
- González-Manteca, J., & Ortega, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento ferroviario*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- European Committee for Standardization (CEN). (2013). *EN 13848-3:2013 – Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 3: Measuring systems*.

Si necesitas incluir este gráfico en tu trabajo académico como imagen exportada o acompañado de análisis técnico adicional, también puedo ayudarte con eso.

La información proporcionada por la IA es correcta. El autor de este documento lo corroboró en Esveld (2001) y en UNE (2022), no obstante, existe una versión de la norma europea EN-13848-3 más actualizada (UNE, 2022). De nueva cuenta, en esta respuesta de la IA, se detectó la primera incongruencia: la referencia bibliográfica a “González-Manteca”, no se encontró disponible en la internet. Además, quien suscribe el presente trabajo, no conoce dicha bibliografía.

Séptimo prompt

"Ahora bien, por favor, describe brevemente la manera en cómo se realiza el trabajo de campo que lleva a la formulación de las gráficas PSD".

Respuesta de ChatGPT

El trabajo de campo para obtener las gráficas de densidad espectral de potencia (PSD) comienza con la auscultación geométrica de la vía férrea, realizada mediante vehículos de inspección especializados (como trenes auscultadores o sistemas embarcados en vehículos de operación). Estos equipos están equipados con sensores de alta precisión —incluyendo acelerómetros, sistemas láser, giroscopios y GNSS— que miden parámetros clave como:

- **Perfil longitudinal de cada riel,**
- **Alineación horizontal,**
- **Nivel transversal (peralte)**
- Y otras variables geométricas a lo largo de la vía

Estas mediciones se realizan de manera continua a velocidades operativas y con resoluciones típicas de 0.25 a 1 metro, generando largas series de datos espaciales.

Una vez recopilados los datos, se trasladan al dominio de la frecuencia espacial mediante técnicas de análisis espectral, como la Transformada Rápida de Fourier (FFT) o el método de Welch. El resultado es una gráfica PSD, que revela la intensidad de las irregularidades para distintas longitudes de onda, permitiendo identificar defectos periódicos, resonancias y patrones estructurales.

REFERENCIAS:

- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. MRT-Productions.
- González-Manteca, J., & Ortega, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento ferroviario*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- EN 13848-3:2013. *Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 3: Measuring systems*.

La información proporcionada por la IA es correcta. De nuevo, esto se corroboró en Esveld (2001) y en UNE (2022). Como se mencionó previamente, existe una versión de la norma europea EN-13848-3 más actualizada respecto a la que utiliza la IA (UNE, 2022). De nuevo, la IA ofreció la misma referencia bibliográfica que no se localizó y no se conoce por parte de quien suscribe: la referencia bibliográfica a “González-Manteca”.

Octavo prompt

"Dame, por favor, una fotografía de un vehículo de inspección especializado que realice la auscultación geométrica de la vía férrea, y esté equipado con los sensores de alta precisión que mencionas. Además, dame, por favor, fotografías independientes, que muestren el acelerómetro, el sistema láser, el giroscopio y el GNSS, montados en dicho vehículo de inspección".

Respuesta de ChatGPT

Aquí tienes imágenes que ilustran diversos aspectos de los vehículos de inspección geométrica de vías férreas y sus sensores de alta precisión:

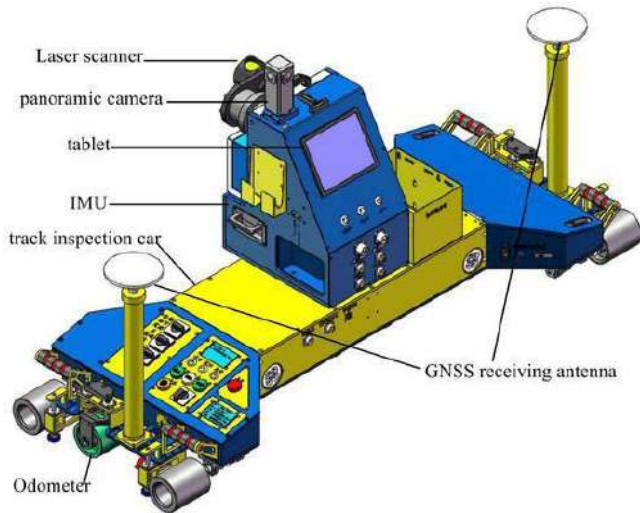
Figura 3:
Trolley de inspección



Fuente: ChatGPT (2025)

Vehículo de inspección especializado: Muestra un trolley o vehículo tipo “track geometry measuring system” equipado con múltiples sensores como GNSS, láser e IMU.

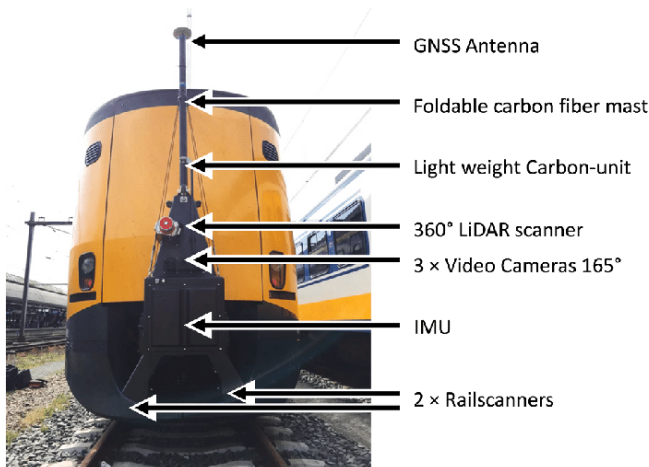
Figura 4:
Detalle del sistema auscultador



Fuente: ChatGPT (2025)

Detalle de la superestructura del sistema: Se observan componentes como el sensor láser, cámaras y posiblemente el GNSS montado sobre el vehículo.

Figura 5:
Unidad RILA



Fuente: ChatGPT (2025)

GNSS e IMU/LIDAR montaje: Imagen esquemática que muestra antena GNSS montada en mástil, IMU y sistema láser sobre un carrito móvil tipo RILA.

Figura 6:

Sistema de auscultación montado en un vagón de tren



Fuente: ChatGPT (2025)

Sistema comercial ENSCO Rail: Vehículo completamente instalado sobre un vagón, con sensores montados debajo (láser, acelerómetros, giroscopios, GNSS).

Sensores destacados montados en el vehículo

- **Acelerómetro / IMU:** Usado para capturar vibraciones verticales y laterales del vehículo, esenciales para detectar irregularidades en alineamiento y perfil.
- **Sensor láser / LiDAR:** Escanea el perfil del riel sin contacto, midiendo distancias con muy alta resolución para determinar perfil longitudinal y desgaste.
- **Giroscopio (parte de la IMU):** Captura ángulos de rotación (pitch, roll, yaw), fundamentales para evaluar inclinación transversal y peralte.
- **GNSS:** Proporciona referencias geoespaciales absolutas, permitiendo georreferenciar con precisión las mediciones.

Estas combinaciones de sensores proporcionan mediciones continuas, de alta resolución (0.25–1 m) y precisión submilimétrica, indispensables para generar los gráficos tradicionales y las gráficas PSD usadas en la diagnosis geométrica ferroviaria.

REFERENCIAS:

- Chen, Q. et al. (2018). A railway track geometry measuring trolley system based on aided INS. *Sensors*, 18(2), 538.
- Wang, H. et al. (2020). Study of loaded vs unloaded measurements in railway track inspection. *Mobile track inspection system (RILA context)*.

Casi toda la información proporcionada por la IA para esta instrucción, es correcta. Esto se corroboró en Zaaayman (2017). El error detectado por quien suscribe, está en la descripción del equipo RILA que se muestra en la Figura 5. La descripción correcta debe ser: Imagen que muestra al equipo RILA montado en la cola de un tren de pasajeros. Se presenta la antena GNSS montada en mástil, equipo IMU y equipo laser para auscultación de los carriles (Zaaayman, 2017).

Noveno prompt

"Ahora, por favor, explica brevemente, máximo 200 palabras, con apoyo gráfico (por favor, dame dichas gráficas en tu respuesta), cómo se deben interpretar las gráficas PSD de una auscultación geométrica de vía férrea."

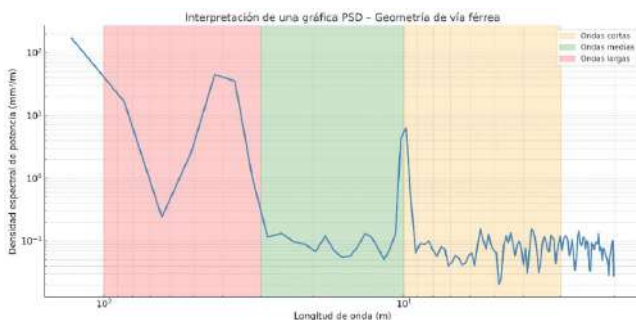
Respuesta de ChatGPT

La gráfica de Densidad Espectral de Potencia (PSD) permite interpretar las irregularidades geométricas de la vía férrea según su frecuencia espacial, es decir, según la longitud de onda de dichas deformaciones.

En la imagen se destacan tres rangos típicos:

- Ondas largas (30–100 m): Representan deformaciones extensas en la plataforma o el balasto (asentamientos, pandeos estructurales). Son críticas para la estabilidad general del tren y la respuesta de baja frecuencia del sistema.
- Ondas medias (10–30 m): Asociadas a problemas de nivelación o deficiencias periódicas en el soporte, como compactación deficiente o repetición de fallos en durmientes. Afectan el confort y el desgaste dinámico.
- Ondas cortas (3–10 m): Detectan defectos más localizados o de alta frecuencia como desgaste ondulatorio del riel, soldaduras mal ejecutadas o vibraciones inducidas por componentes del tren. Son importantes para el ruido, el confort y el impacto sobre los equipos rodantes.

Figura 7:
Interpretación de una gráfica PSD



Fuente: ChatGPT (2025)

Los picos en la curva indican la presencia de frecuencias dominantes que requieren análisis técnico o intervención de mantenimiento.

REFERENCIAS:

- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. MRT-Productions.
- González-Manteca, J., & Ortega, A. (2015). *Ingeniería de mantenimiento ferroviario*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- EN 13848-3:2013. *Railway applications – Track geometry quality – Part 3: Measuring systems*.

La información proporcionada por la IA es parcialmente correcta. De nuevo, esto se corroboró en Esveld (2001) y en UNE (2022). Como se mencionó previamente, existe una versión de la norma europea EN-13848-3 más actualizada respecto a la que utiliza la IA (UNE, 2022). De nuevo, la IA ofreció la misma referencia bibliográfica que no se localizó y no se conoce por parte de quien suscribe: la referencia bibliográfica a "González-Manteca".

El error que ofreció la IA en su respuesta atañe a la categorización de los defectos en las vías de acuerdo a sus longitudes de onda. En específico, lo que corresponde a las ondas cortas y al desgaste ondulatorio. En Esveld (2001), se define una clara diferenciación entre ambas, tal como se describe a continuación:

Ondas cortas (3–10 m): Detectan defectos más localizados o de alta frecuencia como soldaduras mal ejecutadas o vibraciones inducidas por componentes del tren. Son importantes para el ruido, el confort y el impacto sobre los equipos rodantes.

Desgaste ondulatorio (0–3 m): Detectan defectos más localizados o de alta frecuencia como desgaste ondulatorio del riel. Son importantes para el ruido, el confort y el impacto sobre los equipos rodantes.

Décimo prompt

"Gracias. Ahora, por favor, en base a lo que has expuesto sobre las gráficas PSD aplicadas a la auscultación geométrica de vías férreas, elabora un cuestionario de 10 preguntas, e incluye la respuesta debajo de cada pregunta entre paréntesis."

Respuesta de ChatGPT

Con gusto. Aquí tienes un cuestionario de 10 preguntas sobre las gráficas de densidad espectral de potencia (PSD) aplicadas a la auscultación geométrica de vías férreas, con su respectiva respuesta entre paréntesis:

- 1 ¿Qué significa el acrónimo PSD en el contexto ferroviario?
(Densidad Espectral de Potencia – Power Spectral Density en inglés.)
- 2 ¿Cuál es la principal ventaja de utilizar gráficas PSD en lugar de gráficos tradicionales en el dominio espacial?
(Permiten identificar irregularidades periódicas o resonancias que no son fácilmente visibles en los gráficos espaciales.)
- 3 ¿Qué herramienta matemática se utiliza comúnmente para generar una gráfica PSD?
(La Transformada Rápida de Fourier – FFT.)
- 4 ¿Qué tipo de información se representa en el eje horizontal de una gráfica PSD?
(La longitud de onda, que representa la frecuencia espacial de las irregularidades.)
- 5 ¿Qué representa el eje vertical en una gráfica PSD aplicada a una vía férrea?

(La densidad de potencia o intensidad de la irregularidad, normalmente expresada en mm^2/m .)

6 ¿Qué rango de longitudes de onda está asociado típicamente a defectos localizados como desgaste ondulatorio?

(Ondas cortas, entre 3 y 10 metros.)

7 ¿Qué tipo de sensores permiten adquirir los datos necesarios para generar una gráfica PSD?

(Acelerómetros, sensores láser, GNSS y giroscopios, montados en vehículos de inspección.) (La Transformada Rápida de Fourier – FFT.)

8 ¿Qué indica un pico en la curva de una gráfica PSD?

(La presencia de una irregularidad periódica dominante en una longitud de onda específica.)

9 ¿Qué puede indicar un aumento de energía en las ondas largas (30–100 m)?

(Problemas estructurales o asentamientos en el balasto o la plataforma ferroviaria.)

10 ¿Qué normativa europea regula el uso de sistemas de medición para la geometría de la vía férrea? (

La norma EN 13848-3:2013.)

La respuesta que la IA ofrece para la pregunta seis, es incorrecta, la respuesta correcta debe ser "ondas de entre 0 y 3m", de acuerdo a Esveld (2001). La respuesta que la IA ofrece para la pregunta 10, es correcta, pero se trata de una normativa desactualizada, la versión actualizada se muestra en la bibliografía de este trabajo como UNE (2022).

Decimoprimer prompt

"Elabora, por favor, la rúbrica (con criterios de evaluación) para evaluar la aplicación del cuestionario que recién me proporcionaste."

Respuesta de ChatGPT

Aquí tienes la rúbrica de evaluación para aplicar el cuestionario sobre gráficas PSD en el contexto de la auscultación geométrica de vías férreas.

Cada criterio tiene un puntaje máximo de 10 puntos, para un total de 100 puntos:

Tabla 1:
Rúbrica de evaluación

Criterio de evaluación	Puntaje Máximo
Comprensión de conceptos clave (PSD, FFT, sensores)	10
Interpretación de ejes en gráficas PSD	10
Identificación de rangos de longitud de onda	10
Reconocimiento de causas de picos en la curva PSD	10
Relación entre defectos y longitudes de onda	10
Conocimiento de sensores utilizados	10
Capacidad para vincular PSD con mantenimiento ferroviario	10
Comprensión de la normativa técnica (EN 13848-3)	10
Claridad y precisión en las respuestas	10
Aplicación crítica del conocimiento a casos prácticos	10

Fuente: ChatGPT (2025)

El autor de este trabajo estima que la rúbrica proporcionada por la IA es adecuada para evaluar el aprovechamiento de los alumnos tras la exposición del tema.

4. CONCLUSIÓN

La interacción con la IA para el desarrollo del tema "graficas PSD" que se expondrá a los alumnos del curso de vías férreas, es satisfactorio; se detectaron algunas incongruencias y errores en la información que proporciona la IA, pero, mayoritariamente los datos son correctos. En el cuerpo del documento, el autor de este trabajo ofrece las correcciones, y comentarios, a los errores que arrojó la IA.

El tema a exponer se desarrolla en esta interacción tras alimentar a la IA con 11 instrucciones, o prompts. Los primeros cuatro prompts sirvieron para contextualizar a la IA sobre el tema a desarrollar y acotar la información que debe consultar al investigar en la internet para formular sus respuestas. Los restantes siete prompts desarrollan el tema en estudio, cinco para elaborar la exposición del tópico y dos para elaborar mecanismos de evaluación.

Como productos finales, se obtuvo una presentación con diapositivas, para la exposición del tema, un cuestionario para valorar el aprovechamiento de los alumnos tras la explicación, y una rúbrica de evaluación para calificar el cuestionario.

REFERENCIAS:

- ChatGPT (Chat Generative Pre-trained Transformer) (2025). Interacción con la Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT, tras alimentar el prompt: "Por favor, dame un ejemplo de estas gráficas, explícalas textualmente y, además, proporcióname un ejemplo gráfico que las ilustre". (jun, 14, 2025).
- Esveld, Coenraad (2001). *Modern Railway Track*, Second Edition. The Netherlands: MRT-Productions. 640 p. ISBN: 90-800324-3-3.
- UNE (Una Norma Española) (2022). *Aplicaciones ferroviarias. Vía. Calidad de la geometría de vía. Parte 3: Sistemas de medición. Máquinas de construcción y de mantenimiento de la vía.* (UNE-EN 13848-3:2022).
- Zaayman, Leon (2017). *The basic principles of mechanized track maintenance*. Germany: PMC Media House GmbH. 308 p. ISBN: 978-3-96245-151-6.

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA MEZCLA SUELO – CAL EN LABORATORIO

Autor: Ing. José Luis Silva González
Empresa: Calidra.
Correo: jlsilva@calidra.com.mx

RESUMEN

Este artículo presenta una metodología detallada para el diseño de mezclas suelo-cal en laboratorio, con el objetivo de estandarizar los procedimientos y mejorar la fiabilidad de los resultados en proyectos de infraestructura. La metodología se divide en tres fases principales: análisis del suelo, determinación del porcentaje óptimo de cal y evaluación del desempeño. En la fase de análisis, se identifican las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como su entorno geológico y climático. La determinación del porcentaje óptimo de cal se realiza mediante los métodos de Eades and Grim y el método gráfico, asegurando una estabilización completa del suelo. La evaluación del desempeño incluye pruebas de laboratorio sometidas a condiciones especiales, como el curado acelerado, para obtener resultados precisos y fiables. Además, se destacan las normas y protocolos de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y otras instituciones relevantes, que proporcionan guías detalladas para cada etapa del proceso. La implementación de esta metodología permite obtener datos comparables y precisos, optimizando el uso de suelos estabilizados en proyectos de infraestructura y mejorando la calidad de los resultados obtenidos.

Palabras clave: estabilización de suelos, cal, mezcla suelo-cal, pruebas de laboratorio, y normas SICT.

INTRODUCCIÓN



La estabilización de suelos con cal es un proceso de ingeniería civil que consiste en añadir óxido o hidróxido de calcio a un suelo para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Este tratamiento químico provoca reacciones de intercambio catiónico y puzolánicas, que aumentan la resistencia, durabilidad y capacidad de soporte del suelo, haciéndolo más adecuado para su uso en proyectos de infraestructura, como las carreteras.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, el desarrollo de métodos de prueba como la compactación y la compresión triaxial permitió una evaluación más precisa de las mezclas suelo-cal. Esto impulsó su estudio y aplicación formal en Estados Unidos. La Universidad de Illinois desempeñó un papel crucial en la comprensión de los principios y reacciones de las mezclas suelo-cal. Los trabajos de Eades, Grim y Thompson son especialmente relevantes debido a su importancia práctica en los procedimientos de estabilización actuales (Castañeda, 2020).

Además, instituciones como el Departamento de Transporte de Texas (TxDOT) y la Universidad de Texas A&M han sido pioneras en la investigación y desarrollo del uso de la cal en vialidades. El Dr. Dallas Little ha contribuido significativamente al campo, compartiendo sus experiencias y conocimientos a través de numerosas publicaciones que han enriquecido este artículo. En la última década, el Instituto Mexicano del Transporte también ha sido fundamental en el desarrollo de investigaciones sobre la estabilización de suelos con cal y en la creación de protocolos de prueba desarrollados por la Dra. Natalia Pérez.

El proceso de estabilización de un suelo con cal se realiza a través de la reacción química del calcio con la fracción arcillosa presente en el suelo. Algunos factores

como el tipo de suelo y sus minerales, el porcentaje de cal, la calidad de cal y su almacenamiento, el tiempo de maduración y curado, y las condiciones de humedad del suelo impactan el grado de mejora que pueda alcanzar el suelo estabilizado, o incluso que el suelo haya alcanzado efectivamente su estabilización y no solo se haya modificado.

El objetivo de este artículo es presentar una metodología detallada para el diseño de mezclas suelo-cal en laboratorio. Es fundamental homologar los métodos de trabajo al realizar las pruebas de laboratorio, para evitar inconsistencias en la preparación del suelo, la mezcla y la fabricación de los especímenes que generan incertidumbre en la evaluación de los resultados de laboratorio.

Al establecer y divulgar métodos estandarizados, buscamos eliminar variaciones en los procedimientos, asegurando que los resultados se analicen bajo las mismas condiciones en todos los proyectos. Esto permitirá obtener datos más precisos y comparables, mejorando la calidad y fiabilidad de los estudios de estabilización de suelos.

Además, gracias a estos esfuerzos, se han desarrollado normas de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) que ya están publicadas. Durante el artículo, presentaremos estas normas y explicaremos su importancia en la estandarización de los procedimientos de laboratorio.

Diseño de Mezcla Suelo - Cal



Figura 1.

Diagrama de Diseño de Mezcla Suelo - Cal. Fuente: Elaboración propia

1. ANÁLISIS DEL SUELO

Como en cualquier proyecto de ingeniería civil donde el suelo actúa como capa de soporte, el primer paso crucial es la caracterización del suelo y el conocimiento del entorno. La caracterización del suelo implica determinar sus propiedades físicas y mecánicas, como la granulometría, plasticidad, y capacidad de soporte. Este proceso permite evaluar la idoneidad del suelo para la construcción. Además, conocer el entorno climático del área de proyecto es fundamental para anticipar posibles desafíos y adaptar las técnicas de estabilización de manera efectiva. Este

análisis inicial proporciona una base sólida para diseñar mezclas suelo-cal que optimicen la durabilidad del suelo, asegurando el éxito del proyecto desde sus primeras etapas.

1.1. identificación del tipo de suelo:

La identificación del tipo de suelo es un paso fundamental en el proceso de estabilización con cal. En este paso se desarrollan los métodos y técnicas utilizados para determinar las características del suelo, que son esenciales para diseñar una mezcla adecuada. La identificación del suelo incluye la realización de pruebas de granulometría para conocer la distribución de tamaños de partículas, así como la determinación de los límites de Atterberg, que proporcionan información sobre la plasticidad y comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de humedad. Además, se emplean clasificaciones del suelo, como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la clasificación AASHTO, para categorizar el suelo según sus propiedades físicas y mecánicas. Este análisis detallado permite evaluar la idoneidad del suelo para la estabilización con cal y establecer los parámetros necesarios para el diseño de la mezcla, asegurando que el suelo tratado cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios para el proyecto.

En investigaciones recientes desarrolladas en el Instituto Mexicano del Transporte (Pérez et al. 2019. Pérez et al. 2021. Pérez et al. 2023) se han encontrado beneficios tanto en suelos finos como granulares, específicamente en la resiliencia obtenida al estar en contacto con el agua. Al estabilizar el suelo se mantiene la ganancia de resistencia incluso al estar sometido a capilaridad o saturación. Sin embargo, el escenario ideal en donde se ha encontrado el mayor incremento en capacidad de carga es en suelos arcillosos. Algunos indicadores generales presentados en diversas referencias mencionan que suelos con Índice Plástico mayor a 10 y material que pase la malla 200 mayor a 25% son candidatos ideales para ser estabilizados. Desde la clasificación de suelos AASHTO las clases A2-6, A2-7, A6 y A7 serían los adecuados, y esto trasladado a clasificación SUCS correspondería a los tipos CH, CL, MH, OH. No se descartan suelos limosos o incluso arenosos con algo de presencia de finos, sobre todo en condiciones climáticas con presencia constante de humedad.

1.2. Determinación de la necesidad de estabilización

Evaluar si un suelo necesita estabilización con cal es un paso crucial en el diseño de mezclas suelo-cal. La necesidad de estabilización se hace evidente en varios escenarios de obra, donde las condiciones del suelo y los costos asociados a la sustitución de materiales juegan un papel determinante.

En proyectos donde los acarreo de material son caros o lejanos, la estabilización con cal se presenta como una solución económica y eficiente. Transportar material de banco desde ubicaciones distantes puede incrementar significativamente los costos del proyecto. En estos casos, aprovechar el suelo existente mediante su estabilización con cal no solo reduce los gastos, sino que también optimiza el uso de recursos locales.

Otro escenario común es cuando hay grandes volúmenes de material de corte que, de otro modo, se desperdiciarían. La estabilización con cal permite reutilizar este material, transformándolo en una capa de soporte adecuada para la construcción. Esto no solo es beneficioso desde el punto de vista económico, sino también ambiental, al reducir la necesidad de disposición de residuos y la extracción de nuevos materiales.

La presencia de humedad constante, como niveles freáticos altos, escurrimientos o lluvias frecuentes, también puede indicar la necesidad de estabilización. La cal mejora la resistencia del suelo a la humedad, reduciendo su plasticidad y expansión, lo que resulta en una base más estable y duradera para la infraestructura.

Para determinar la necesidad de estabilización, se deben realizar pruebas preliminares que evalúen las propiedades del suelo, como su plasticidad, capacidad de soporte y comportamiento bajo condiciones de humedad. Los criterios de decisión incluyen la identificación de suelos con alta plasticidad, baja capacidad de soporte y susceptibilidad a la expansión y contracción. Estas pruebas proporcionan una base sólida para decidir si la estabilización con cal es necesaria y cómo debe implementarse.



2. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA MÍNIMA DE CAL

La determinación de la demanda mínima de cal, también conocida como el porcentaje óptimo de cal, es esencial para lograr la estabilización completa del suelo. Este porcentaje representa la cantidad de cal que debe dosificarse en función del peso del suelo para asegurar que toda la fracción arcillosa reaccione con el calcio de la cal. Esta reacción química convierte los minerales de sílice y aluminio en silicatos de calcio hidratado y aluminatos de calcio hidratado, conocidos como productos de la reacción puzolánica. Esta reacción es fundamental para garantizar que la estabilización del suelo sea permanente.

Existen dos procedimientos principales para determinar este porcentaje de cal: el método de Eades and Grim, también conocido como el método del pH, y el método gráfico.

2.1. Método de eades and grim (Método del pH):

El método del pH fue desarrollado en los años 60 por el Dr. Ralph Early Grim, conocido como el padre de la mineralogía de las arcillas, y el Dr. James L. Eades. Este método consiste en añadir cal a muestras de suelo de 25 gramos que pasen la malla 40. Las muestras se colocan en frascos con porcentajes de cal que varían del 2% al 6% en incrementos de 1%, y se llenan con 100 ml de agua. Los frascos cerrados se agitan vigorosamente durante 30 segundos y se dejan reposar durante 10 minutos, repitiendo este ciclo hasta completar una hora. Inmediatamente después, se mide el pH de cada frasco. La mezcla que arroje un pH de 12.4 indica el porcentaje necesario para la estabilización completa del suelo. Este pH es característico de la cal, y su presencia indica que los minerales del suelo han consumido la cal necesaria, dejando un exceso que mantiene el pH en 12.4.

El método completo se encuentra detallado en la norma M-MMP-4-02-018/22 "Demanda Mínima de Cal para Materiales Tratados", así como en la NMX-C-541-ONNCCE-2017 "Especificaciones y consideraciones para el tratamiento de Suelos con cal (secado, modificación y estabilización)", y en la ASTM D6276-19 "Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization".



Figura 2.

Medición de pH en prueba de Eades and Grim. Fuente: Castañeda Garay, F. J. (2022)

2.2. Método gráfico:

Una alternativa al método del pH es el método gráfico, que es más sencillo y práctico. Este método requiere conocer el índice plástico y el porcentaje que pasa la malla 40. Con estos dos indicadores, se puede utilizar una gráfica para encontrar la curva correspondiente al porcentaje óptimo de cal. Esta gráfica también se encuentra en la norma M-MMP-4-02-018/22 "Demanda Mínima de Cal para Materiales Tratados".

Ambos métodos son confiables para determinar la demanda mínima de cal. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la prueba de Eades and Grim requiere cuidados específicos a nivel de laboratorio químico, ya que los equipos de medición de pH son sensibles y necesitan un manejo adecuado. Por esta razón, se recomienda utilizar el método gráfico por su practicidad en situaciones donde los recursos de laboratorio son limitados.

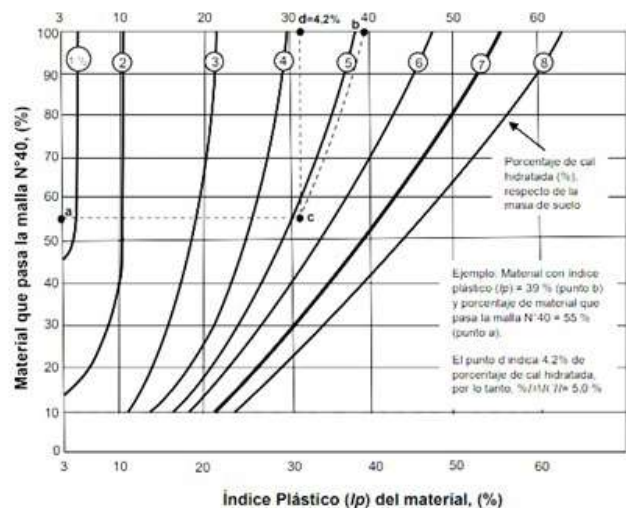


Figura 3.

Método Gráfico. Fuente: SICT M-MMP-4-02-018/22

3. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

La evaluación del desempeño de las mezclas suelo-cal es un paso crucial para garantizar la efectividad de la estabilización, ya que todos los suelos son diferentes debido a su composición mineral. Esto es importante porque la capacidad de intercambio catiónico con el calcio de la cal y la reacción puzolánica dependen de la composición del suelo. Un suelo que parece similar a otro en términos de plasticidad, granulometría y color puede tener un desempeño muy diferente en términos de resistencia. Este subtema aborda las pruebas de laboratorio sometidas a condiciones especiales, que son esenciales para obtener resultados precisos y fiables. A continuación, se describen las consideraciones y etapas clave del proceso:



Figura 4.

Evaluación del Desempeño. Fuente: Elaboración propia.

3.1. Mezclado

El proceso de mezclado debe asegurar una distribución uniforme de la cal en el suelo. La demanda mínima de cal obtenida en el paso anterior se debe dosificar con relación al peso de la muestra de suelo. Se recomienda agregar la cal poco a poco a la muestra seca en una charola, homogeneizando hasta conseguir una mezcla. Luego, se debe añadir el agua necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación, considerando agregar 3 puntos por encima de la humedad óptima. Esto es indispensable para que la cal obtenga el agua necesaria para hidratarse y reaccionar con el suelo. Se debe seguir manipulando la muestra para disgregar los grumos que se puedan formar hasta conseguir una mezcla homogénea.

3.2. Maduración de la mezcla

Inmediatamente después de terminar el mezclado, sigue la maduración. La etapa de maduración es fundamental para permitir que las reacciones químicas entre la cal y el suelo se desarrollen plenamente. Durante esta fase, la mezcla debe mantenerse en condiciones controladas de temperatura y humedad para optimizar la formación de silicatos de calcio hidratado y aluminatos de calcio hidratado. Este proceso consiste en guardar la mezcla de suelo-cal en una bolsa cerrada y dejarla reposar durante 24 horas. Los pasos para el mezclado y maduración se pueden encontrar detallados en la norma M-MMP-4-02-020/23 "Criterios para el Diseño de Mezclas de Materiales Tratados con Cal".

3.3. Elaboración de los especímenes

Una vez que la mezcla ha madurado, se procede a la elaboración de los especímenes para las pruebas de laboratorio. Los especímenes deben ser moldeados siguiendo técnicas precisas para asegurar su uniformidad y representatividad. Es crucial que los especímenes sean fabricados bajo condiciones controladas para evitar variaciones que puedan afectar los resultados de las pruebas. Para la resistencia a la compresión, se puede consultar la norma M-MMP-4-021/24 "Resistencia a la Compresión no Confinada de Materiales Tratados con Cal". Para el caso del CBR, se puede consultar la norma M-MMP-1-11/16 "Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp)".



3.4. Curado acelerado

El curado acelerado es una etapa clave en la evaluación del desempeño de las mezclas suelo-cal. Este proceso implica someter los especímenes a condiciones de temperatura y humedad elevadas para acelerar las reacciones químicas y simular el envejecimiento del suelo estabilizado. El curado acelerado permite obtener resultados en un tiempo reducido, facilitando la evaluación rápida de la efectividad de la estabilización. El procedimiento consiste en envolver los especímenes en plástico y guardarlos en una bolsa cerrada, para luego meterlos al horno a 40°C durante 7 días. Este procedimiento se indica en la norma M-MMP-4-02-022/24 "Curado Acelerado de Materiales Tratados con Cal".

Finalmente, se realiza el procedimiento de la prueba para aplicar la carga, ya sea el caso del CBR o de la resistencia a la compresión no confinada, de acuerdo con las normas mencionadas anteriormente, para evaluar la capacidad de soporte y resistencia del suelo estabilizado. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre la durabilidad y estabilidad del suelo tratado, permitiendo tomar decisiones informadas sobre su uso en proyectos de infraestructura.



CONCLUSIONES

La metodología para el diseño de una mezcla suelo-cal en laboratorio, presentada en este artículo, ofrece un enfoque detallado y estandarizado para la estabilización de suelos. A lo largo de las diferentes fases del proceso, se han abordado aspectos cruciales que garantizan la efectividad y fiabilidad de los resultados obtenidos.

El análisis del suelo es el primer paso fundamental, donde se identifican las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como su entorno geológico y climático. Este análisis inicial proporciona una base sólida para evaluar la idoneidad del suelo y determinar la necesidad de estabilización.

La determinación del porcentaje óptimo de cal es esencial para asegurar que toda la fracción arcillosa del suelo reaccione con el calcio de la cal, garantizando una estabilización permanente. Los métodos de Eades and Grim y el método gráfico ofrecen procedimientos confiables para establecer esta demanda mínima, cada uno con sus propias ventajas y consideraciones prácticas.

La evaluación del desempeño de las mezclas suelo-cal, sometidas a condiciones especiales, es crucial para obtener resultados precisos y fiables. Las etapas de mezclado, maduración, elaboración de especímenes y curado acelerado aseguran que las reacciones químicas se desarrollen plenamente, optimizando la resistencia y durabilidad del suelo estabilizado. Las pruebas de laboratorio, como el CBR y la resistencia a la compresión

no confinada, proporcionan información valiosa sobre la capacidad de soporte del suelo tratado.

La estandarización de los métodos de trabajo en las pruebas de laboratorio es fundamental para eliminar variaciones y omisiones en los procedimientos, asegurando que los resultados se analicen bajo las mismas condiciones en todos los proyectos. Esto mejora la calidad y fiabilidad de los estudios de estabilización de suelos, permitiendo obtener datos comparables y precisos.

Las normas de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) y otras instituciones relevantes proporcionan guías detalladas para cada etapa del proceso, facilitando la implementación de la metodología propuesta en proyectos de infraestructura. Estas normas son esenciales para garantizar que los procedimientos se realicen de manera consistente y estandarizada.

En resumen, la metodología detallada para el diseño de mezclas suelo-cal en laboratorio presentada en este artículo ofrece un enfoque integral y estandarizado para la estabilización de suelos. Al seguir estos pasos y procedimientos, se puede asegurar la efectividad y durabilidad del suelo tratado, optimizando su uso en proyectos de infraestructura y mejorando la calidad de los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- ASTM International. (2019). ASTM D6276-19 Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization.
- Castañeda Garay, F. J. (2022). Estabilización de suelos con cal. Trillas.
- National Lime Association. (2000). Mixture Design and Testing Procedures for Lime Stabilized Soil.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2017). NMX-C-541-ONNCCE-2017 Especificaciones y Consideraciones para el Tratamiento de Suelos con Cal (Secado, Modificación y Estabilización).
- Pérez García, N., Castañeda Garay, F. J., & Silva González, J. L. (2023). Propiedades mecánicas de suelos estabilizados con óxido de calcio. Suelos de un tramo del Tren Maya. Publicación Técnica No. 777. Instituto Mexicano del Transporte.
- Pérez García, N., Pérez Salazar, A., & Garnica Anguas, P., Castañeda Garay, F. J., & Silva González, J. L. (2021). Evaluación de las propiedades de suelos estabilizados con óxido de calcio. El caso de suelos de la Ciudad de México. Publicación Técnica No. 638. Instituto Mexicano del Transporte.
- Pérez García, N., Pérez Salazar, A., & Garnica Anguas, P. (2019). Evaluación del óxido de calcio (estabilizante) como estabilizador de suelos. Publicación Técnica No. 560. Instituto Mexicano del Transporte.
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2016). M-MMP-1-11/16 Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp).
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2022). M-MMP-4-02-018/22 Demanda Mínima de Cal para Materiales Tratados.
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2023). M-MMP-4-02-020/23 Criterios para el Diseño de Mezclas de Materiales Tratados con Cal.
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2024). M-MMP-4-021/24 Resistencia a la Compresión no Confinada de Materiales Tratados con Cal.
- Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. (2024). M-MMP-4-02-022/24 Curado Acelerado de Materiales Tratados con Cal.

SEGURIDAD VIAL: ENFOQUE PREVENTIVO Y REACTIVO ANTE LA SINIESTRALIDAD EN UNA RED CARRETERA

Martha Carina Gutiérrez Méndez
mcgutierrez@guanajuato.gob.mx

Jonatan Uribe Torres
juribe@guanajuato.gob.mx

Secretaría de Obra Pública del Estado de Guanajuato.

RESUMEN

La seguridad vial es un componente esencial para el desarrollo sostenible y la protección de vidas. A pesar de los marcos globales y nacionales que promueven el enfoque de "Sistema Seguro", los siniestros viales persisten como un grave problema. Abordar esta problemática requiere estrategias tanto proactivas como reactivas. Este artículo describe el enfoque preventivo fundamental de las auditorías en seguridad vial para identificar deficiencias desde el diseño de nuevas carreteras o modernizaciones. Posteriormente, detalla una metodología reactiva clave: la gestión de la seguridad en la red vial existente centrada en la identificación, análisis y tratamiento de los puntos o tramos de conflicto, conforme a las recomendaciones del Instituto Mexicano del Transporte. Este proceso implica definir y localizar geográficamente estas concentraciones de siniestros, priorizarlas según su severidad mediante el Número de Accidentes Equivalente, analizar en detalle sus causas probables mediante inspecciones en seguridad vial y evaluar el nivel de seguridad de una vía a través de la metodología propuesta por el International Road Assessment Programme (iRAP), desarrollar soluciones técnicas, implementarlas y monitorear su efectividad.

Palabras clave: Seguridad vial, siniestralidad, sistema seguro, infraestructura vial.



INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial es vital para el desarrollo, facilitando la conectividad y el acceso a servicios. Sin embargo, los siniestros viales representan una seria crisis de salud pública global y en México, con cifras que evidencian la magnitud del problema (OMS: ~1.19 millones muertes/año global; INEGI: 15,986 fallecimientos en México en 2022). Estos eventos son fallos del sistema de movilidad. El enfoque de "Sistema Seguro" busca diseñar y gestionar este sistema para minimizar las consecuencias graves de los errores humanos. Para lograrlo, es indispensable aplicar un conjunto de estrategias que actúen en diferentes momentos del ciclo de vida de la infraestructura: tanto en la fase de diseño (preventivas) como en la red ya en operación (reactivas, pero con aplicación proactiva de soluciones). Aquí se describen estas estrategias, comenzando por el enfoque preventivo y continuando con la metodología reactiva para la gestión de la red existente.

EL ENFOQUE DE SISTEMA SEGURO: UN CAMBIO DE PERSPECTIVA

El paradigma del "Sistema Seguro" representa un cambio fundamental en la manera de abordar la seguridad vial. Su meta es diseñar un sistema de movilidad que no solo anticipe el error humano, sino que también lo tolere, de modo que las fallas no resulten en muertes o lesiones graves. Este enfoque se sustenta en varios principios: reconoce la falibilidad humana y los límites de tolerancia física de las personas; promueve una responsabilidad compartida entre diseñadores, gestores y usuarios del sistema; impulsa un diseño de infraestructura y vehículos tolerante a fallos; y adopta una visión sistémica que integra la infraestructura, la gestión de la velocidad, la seguridad de los vehículos y el comportamiento de los usuarios como elementos interconectados.

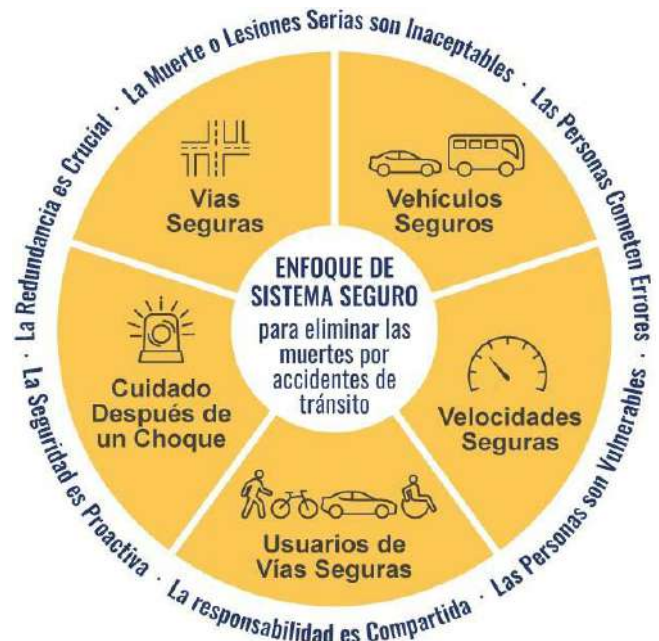


Ilustración 1 Enfoque de Sistema Seguro

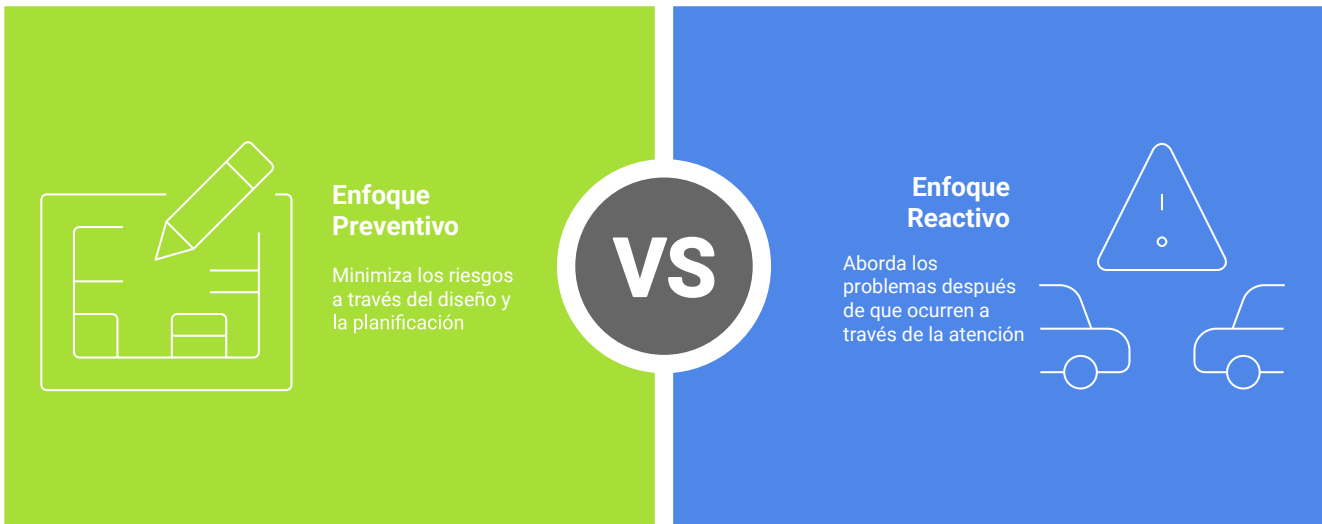


Ilustración 2 Enfoque Preventivo y Reactivo

ENFOQUE PREVENTIVO: AUDITORÍAS EN SEGURIDAD VIAL (ASV)

Dentro de la filosofía del Sistema Seguro para la infraestructura vial, la prevención juega un papel fundamental. Las Auditorías en Seguridad Vial (ASV) emergen como una herramienta preventiva de primer orden. A diferencia de las metodologías reactivas que parten del análisis de siniestros ya ocurridos, las ASV se implementan durante las fases iniciales de los proyectos viales, ya sean nuevas construcciones o modernizaciones significativas, antes de que comiencen las obras. Su propósito es identificar y evaluar de manera proactiva los riesgos potenciales para la seguridad vial que puedan estar implícitos en el diseño propuesto.

Al detectar estas posibles deficiencias en la etapa de planificación y diseño, es posible introducir modificaciones para eliminarlas o mitigarlas antes de que la vía se materialice y entre en funcionamiento. En esencia, las ASV buscan incorporar la seguridad desde la concepción misma del proyecto ("construir la seguridad desde el principio"), evitando así la creación de condiciones que podrían convertirse en futuros puntos o tramos de conflicto. Estas auditorías son evaluaciones formales, realizadas de forma sistemática e independiente por un equipo de expertos cualificados, quienes revisan minuciosamente los planos, especificaciones técnicas y demás documentos del proyecto, siempre desde la perspectiva de la seguridad para todos los tipos de usuarios viales.

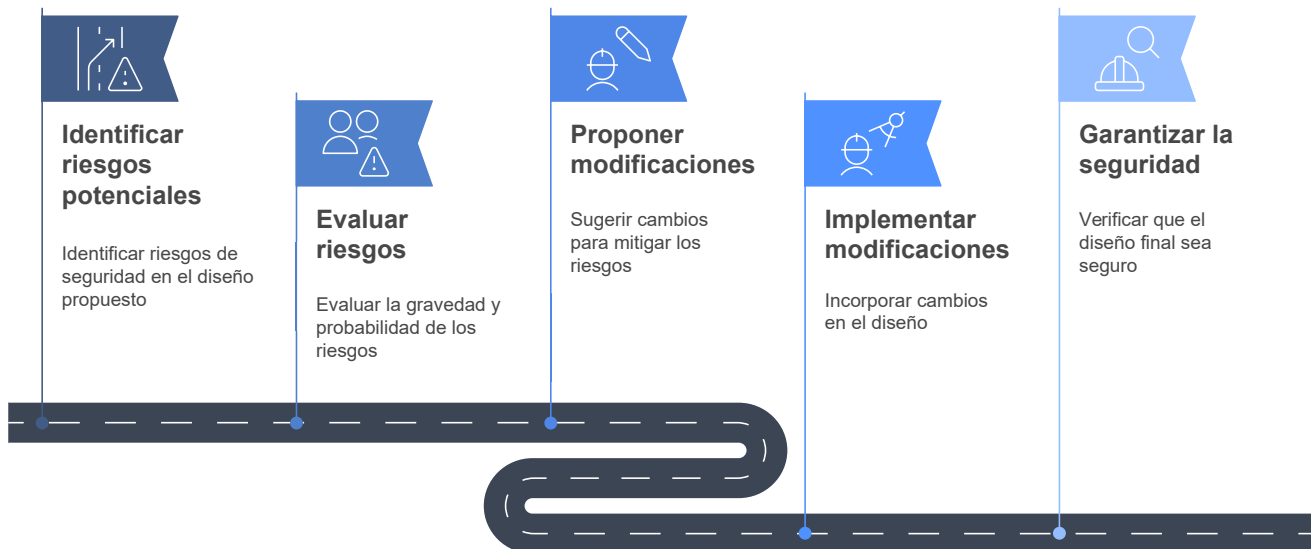


Ilustración 3 Enfoque Preventivo

GESTIÓN DE LA SEGURIDAD EN LA RED VIAL EXISTENTE: UN ENFOQUE REACTIVO SISTEMÁTICO

De forma complementaria a las acciones preventivas, la seguridad en las carreteras y calles que ya están en operación demanda un proceso continuo de evaluación y mejora. Una vez que una vía se encuentra en servicio, es indispensable monitorear su desempeño en términos de seguridad a lo largo del tiempo e intervenir activamente donde se detecten problemas recurrentes.

Aunque este proceso se nutre del análisis de eventos pasados (los siniestros), su aplicación tiene un carácter proactivo, pues busca prevenir futuros incidentes graves en aquellos lugares que han sido identificados como de alto riesgo. La base de esta gestión radica en la recopilación sistemática y el análisis riguroso de los datos de siniestralidad para localizar con precisión las ubicaciones que presentan un riesgo elevado.

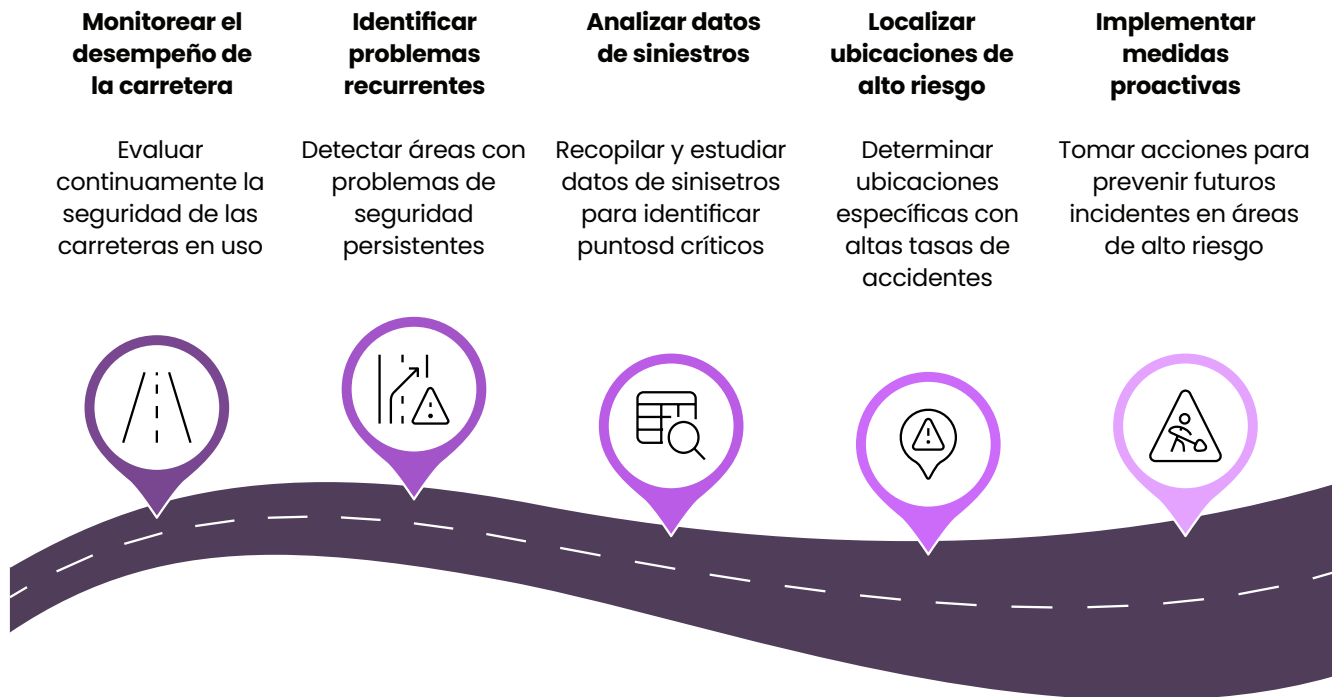


Ilustración 4 Enfoque Reactivo

PUNTOS Y TRAMOS DE CONFLICTO

En el marco de esta gestión basada en el análisis de siniestros, resulta fundamental identificar aquellas ubicaciones específicas que registran una concentración anormal de incidentes. El "Manual de Procedimiento para el Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto" del Instituto Mexicano del Transporte, establece las siguientes definiciones:

- **Punto de conflicto:** Es un sitio de la vialidad donde en una longitud del orden de un kilómetro han ocurrido cuatro o más accidentes, un accidente con uno o más muertes o dos accidentes con uno o más heridos, en cada uno de los dos últimos años, y cuyas causas inciden directamente en la infraestructura. Los sitios podrán presentarse en curvas, entronques, puentes, cruces con vías férreas, etc.

- **Tramo de conflicto:** Es un sitio de la vialidad donde en una longitud de uno a quince kilómetros se presentan ocho o más accidentes, dos accidentes con una o más muertes o cuatro accidentes con uno o más heridos en cada uno de los dos últimos años, pudiéndose presentar en tangente, zona de curvas o tramos mixtos con características físicas y operativas similares.

Estas definiciones operativas, empleadas por el IMT, fijan umbrales claros en cuanto a frecuencia y severidad de los siniestros, así como criterios de longitud, permitiendo identificar de manera formal aquellos lugares de la red vial existente que requieren una atención prioritaria debido a su preocupante historial de accidentes.



IDENTIFICACIÓN MEDIANTE GEOPROCESAMIENTO DE REGISTROS DE SINIESTROS VIALES

La localización precisa de estos puntos y tramos de conflicto se lleva a cabo de forma sistemática utilizando los registros históricos de accidentalidad. Una técnica cada vez más eficaz y extendida para esta tarea es el geoprocesamiento de los datos de siniestros. Este método implica recopilar los informes de accidentes – los cuales idealmente deben contener información espacial detallada, como coordenadas GPS o referencias a puntos kilométricos – y representarlos geográficamente sobre un mapa digital de la red vial. Para ello se utilizan Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Mediante el uso de herramientas de análisis espacial disponibles en los SIG, es posible detectar visual y analíticamente las concentraciones de siniestros, agruparlos según su proximidad geográfica y aplicar rigurosamente los criterios de definición del IMT (número de accidentes, severidad, longitud del tramo). Este proceso permite delimitar formalmente aquellos puntos y tramos que cumplen con los requisitos para ser clasificados como "de conflicto". El enfoque geográfico no solo facilita una visualización clara de cómo se distribuye la siniestralidad en el territorio, sino que también permite una identificación objetiva y basada en datos de las ubicaciones más problemáticas de la red.

PRIORIZACIÓN POR SEVERIDAD

Una vez que se han identificado múltiples puntos y tramos de conflicto en una red vial, es habitual que los recursos disponibles (económicos, técnicos y humanos) no sean suficientes para intervenir en todos ellos de manera simultánea. Por esta razón, se hace indispensable establecer un orden de prioridad claro para dirigir los esfuerzos y las inversiones hacia aquellas ubicaciones donde las intervenciones tengan el mayor potencial de impacto en la reducción de la siniestralidad grave (muertes y lesiones serias).

La priorización se realiza comúnmente tomando en cuenta la severidad de los siniestros ocurridos en cada sitio, yendo más allá de la simple contabilización de la frecuencia. Para lograr esta ponderación, se utiliza el indicador conocido como Número de Accidentes Equivalentes (NAE).

El NAE es un índice que asigna un peso específico a una acumulación de siniestros en función de la gravedad de sus consecuencias. La fórmula empleada, utilizando los coeficientes de ponderación recomendados por el IMT para reflejar la severidad relativa de cada tipo de consecuencia, es la siguiente:

"NAE = Número de accidentes + 6 × Número de fallecidos + 2 × (Número de lesionados)"



Al calcular el NAE para cada punto o tramo de conflicto identificado, se obtiene un valor numérico que representa la gravedad ponderada de la siniestralidad acumulada en esa ubicación. Aquellos sitios que presentan un NAE más elevado son aquellos donde las consecuencias de los siniestros han sido más severas (es decir, con un mayor número de fallecidos o lesionados) y, por consiguiente, se les asigna una mayor prioridad para la implementación de medidas correctivas. Para realizar comparaciones más homogéneas y justas entre tramos con grandes diferencias de volúmenes, el NAE puede relacionarse con el flujo vehicular (Tránsito Diario Promedio Anual - TDPA, por ejemplo). Esto permite calcular tasas o índices de riesgo relativo, facilitando una priorización más efectiva de las intervenciones dentro de una red de carreteras o una región determinada, al considerar la exposición al riesgo de los usuarios.

ANÁLISIS, SOLUCIÓN Y MONITOREO

La identificación y priorización de los puntos y tramos de conflicto son solo los pasos iniciales. Para abordar eficazmente la siniestralidad en una ubicación priorizada, es necesario seguir un proceso metodológico riguroso que incluye un análisis profundo, el desarrollo de soluciones adecuadas y un seguimiento de su efectividad a lo largo del tiempo:



- 1 **Análisis de causas:** Se emprende un estudio pormenorizado de cada uno de los siniestros registrados en el sitio de interés. Esto implica revisar detalladamente los informes policiales o de accidentes, analizar los diagramas de colisión (si existen), y considerar cualquier otra información relevante (datos de tráfico, condiciones climáticas, etc.) para identificar los factores contribuyentes y determinar las causas más probables de los siniestros. El objetivo primordial es comprender a fondo por qué están ocurriendo los accidentes en esa ubicación específica.

- 2 **Inspección de Seguridad Vial (ISV):** Como complemento indispensable al análisis de datos de gabinete, se realiza una Inspección de Seguridad Vial específica en el punto o tramo de conflicto. Un equipo de expertos en seguridad vial visita el lugar para examinar directamente las características físicas de la infraestructura (geometría, pavimento, drenaje), el estado y adecuación de la señalización vertical y horizontal, las condiciones de visibilidad, el entorno vial, el comportamiento observado de los diferentes tipos de usuarios y cualquier otro factor in situ que pueda estar influyendo negativamente en la seguridad. Esta inspección en campo es fundamental para validar las hipótesis surgidas del análisis de datos, descubrir problemas que no son evidentes sólo en los registros documentales e identificar riesgos potenciales para todos los usuarios, prestando especial atención a la seguridad de los más vulnerables (peatones, ciclistas, motociclistas, usuarios de transporte público). En esta etapa, la aplicación de metodologías estandarizadas como la propuesta por el International Road Assessment Programme (iRAP) puede ser de gran utilidad. Esta metodología permite realizar una evaluación sistemática de las características de seguridad vial de la infraestructura existente y asignar una "Calificación de Estrellas" al tramo, lo cual enriquece significativamente el diagnóstico basado únicamente en siniestros.

3 Desarrollo de solución: Con base en los resultados del análisis de causas, los hallazgos de la ISV, se procede al diseño de soluciones técnicas específicas y adaptadas a la problemática del punto o tramo de conflicto. Este proceso implica definir las contramedidas de ingeniería vial más apropiadas para mitigar los riesgos identificados. El abanico de posibles soluciones es amplio y puede variar desde intervenciones de bajo costo, como mejoras en la señalización (vertical y horizontal) y la demarcación del pavimento, hasta medidas más complejas como la instalación de barreras de contención, modificaciones geométricas significativas (rediseño de curvas, construcción de rotondas en intersecciones), mejora de la calidad y adherencia del pavimento, instalación o mejora del sistema de iluminación, e implementación de medidas para la gestión efectiva de la velocidad (reductores de velocidad, estrechamientos de carril, etc.). Dependiendo de la complejidad de la situación y de las soluciones propuestas, esta fase puede incluir el uso de herramientas de modelación del tráfico y microsimulación para evaluar el impacto esperado de las diferentes alternativas antes de su implementación física.

4 Monitoreo y evaluación: Una vez que la solución o conjunto de soluciones ha sido implementada, es esencial llevar a cabo un monitoreo continuo del desempeño en seguridad del punto o tramo intervenido. Se debe seguir recopilando y analizando sistemáticamente los datos de siniestralidad posteriores a la intervención para evaluar objetivamente la efectividad de las contramedidas implementadas en la reducción del número y la severidad de los siniestros, especialmente aquellos con consecuencias graves (fatales y con lesiones graves). Este monitoreo permite verificar si se han alcanzado los objetivos de seguridad planteados inicialmente, identificar si se requieren ajustes o mejoras adicionales a las soluciones implementadas, y fundamentalmente, alimentar un ciclo de mejora continua en la gestión de la seguridad vial.

Metodologías específicas, como las desarrolladas y recomendadas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), proporcionan guías y procedimientos detallados para llevar a cabo cada una de estas etapas de manera estructurada, asegurando así un enfoque técnico, riguroso y sistemático en la gestión de los puntos y tramos de conflicto en la red vial.

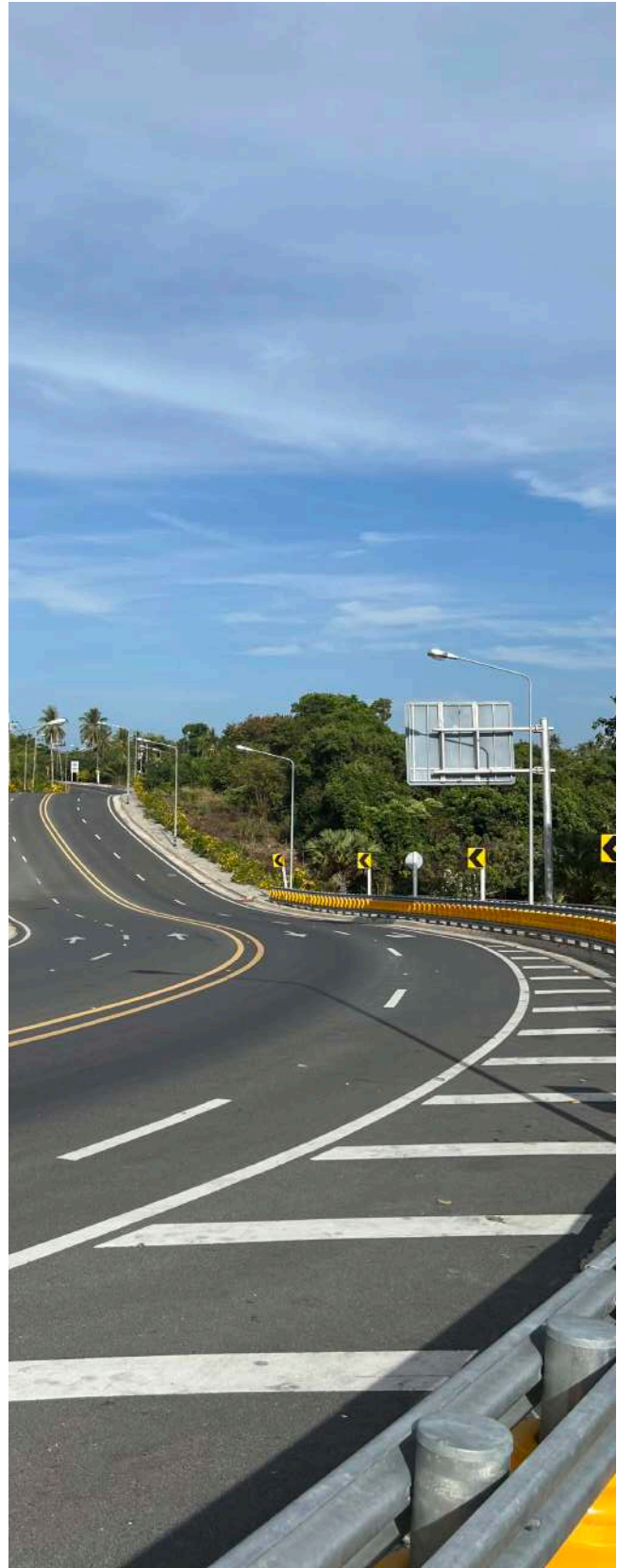


CONCLUSIÓN

La gestión proactiva de la seguridad vial, en el marco del enfoque de Sistema Seguro para la infraestructura carretera, requiere la aplicación coordinada de estrategias preventivas y reactivas. El enfoque preventivo, a través de las Auditorías en Seguridad Vial (ASV), es indispensable para identificar y corregir riesgos desde la fase de diseño de la infraestructura, evitando que se materialicen problemas futuros. Complementariamente, la metodología reactiva para la identificación, análisis y tratamiento de puntos y tramos de conflicto, basada en el análisis de siniestros y metodologías como las del IMT (incluyendo geoprocetamiento y priorización por NAE con coeficientes ponderados por severidad y relacionados con el flujo vehicular), es esencial para mejorar la seguridad en la red vial existente. Este proceso incluye la Inspección en Seguridad Vial (ISV) en sitio, donde metodologías como la de iRAP pueden enriquecer el diagnóstico, identificando riesgos para todos los usuarios, con especial atención a los vulnerables. La combinación de estas herramientas es el camino más efectivo para construir infraestructura vial verdaderamente segura, inclusiva y sostenible, reduciendo drásticamente las consecuencias de los siniestros viales.

REFERENCIAS:

- Seguridad Vial | CEPAL. <https://www.cepal.org/es/subtemas/seguridad-vial>.
- Publica DOF Estrategia Nacional de Movilidad y Seguridad Vial 2023-2042. <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/publica-dof-estrategia-nacional-de-movilidad-y-seguridad-vial-2023-2042>.
- El enfoque del Sistema Seguro | Manual de Seguridad Vial <https://roadsafety.piarc.org/es/gestion-de-la-seguridad-vial/4-el-enfoque-del-sistema-seguro/>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2010). Manual de procedimiento para el Programa Nacional de Atención a Puntos de Conflicto. Subsecretaría de Infraestructura. Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Estadísticas de Defunciones Registradas (EDR) 2022. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/>
- International Road Assessment Programme (iRAP). Metodología de Evaluación y Clasificaciones de estrellas. <https://irap.org/es/rap-tools/infrastructure-ratings/star-ratings/>.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2023. Ginebra: OMS. Recuperado de: <https://www.who.int/es/publications/item/9789240086517>





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

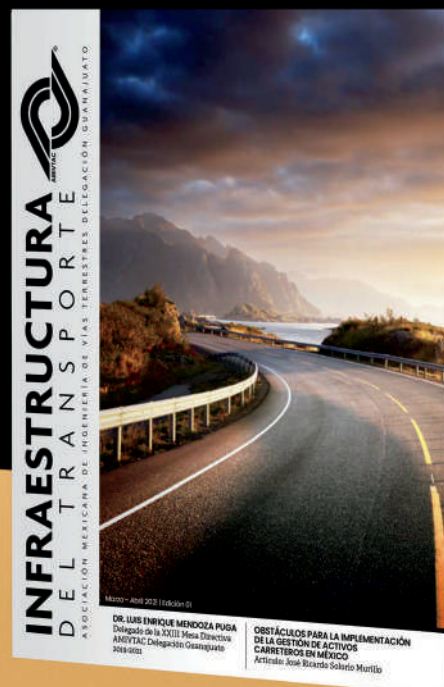
Estamos comprometidos con el medio ambiente y tu seguridad,
por ello en la **Autopista Salamanca-León** contamos con:
Energía solar en todas las casetas • Pavimentos sostenibles • Reciclaje de residuos
Senderos verdes • Vigilancia 24 hrs • Ambulancias



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



LLEGA A MÁS PERSONAS DE LA INDUSTRIA



ANÚNCIATE CON NOSOTROS,
TENEMOS PRESENCIA A NIVEL NACIONAL

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



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

