REDUCCIÓN DE ACCIDENTES EN SALIDAS DE AUTOPISTAS

REDUCTION OF ACCIDENTS AT MOTORWAY EXITS

Autor: Juan José Grassi[1]

Mail autor: grassi.juanjose@usal.edu.ar

Coautor: Teresita Inés Poretti[2]

Mail Coautor: terepore@yahoo.com.ar

1 Alte. Cordero 92, CP 1826, Remedios de Escalada, Argentina.
2 Av. Champagnat 1300, CP 1619, Pilar, Argentina.

Resumen: Las situaciones de congestión del tránsito en las salidas o ingresos de las autopistas de diversas ciudades, representan un problema grave y cada vez más intolerable para los usuarios en sus actividades cotidianas. Nos interesó estudiar estos escenarios, muchas veces desatendidos, los que surgen de carencias de diseños adecuados y la falta de señalización apropiada que proporcione información concreta en tiempo real al conductor. Estas situaciones, resultado de una inadecuada planificación y actualización, generan autovías ineficientes, y provocan incrementos significativos de accidentes, causando daños irreparables al usuario, añadiendo demoras innecesarias que afectan la productividad y la calidad de vida. Este contexto también conlleva a un incremento del consumo de combustibles, reducción de la autonomía y contribuye al deterioro del medio ambiente. Nos interesó investigar estos vicios poco asumidos para aportar ideas que consideramos innovadoras. Con la ayuda de autoridades municipales de tránsito, se facilitaron las tares de la búsqueda de soluciones con tecnologías modernas y adecuadas. Consideramos que, asumiendo los conceptos expuestos, lograremos mejorar la seguridad vial y optimizar el uso del tiempo y recursos, impulsando a una movilidad más eficiente y sostenible.

Palabras-clave: seguridad autopistas, limitaciones autovías, accidentes autopistas, diseño autopistas

Abstract: Traffic congestion situations at the entrances and exits of highways in various cities represent a serious and increasingly intolerable problem for users in their daily activities. We were interested in studying these often neglected scenarios, which arise from the lack of adequate designs and the lack of appropriate signage that provides specific information in real time to drivers. These situations, the result of inadequate planning and updating, generate inefficient highways and cause significant increases in accidents, causing irreparable damage to users, adding unnecessary delays that affect productivity and quality of life. This context also leads to an increase in fuel consumption, reduced autonomy and contributes to environmental deterioration. We were interested in investigating these little-recognized vices in order to contribute ideas that we consider innovative. With the help of municipal traffic authorities, the task of finding solutions was facilitated with modern and appropriate technologies. We believe that by adopting the concepts outlined above, we will be able to improve road safety and optimize the use of time and resources, promoting more efficient and sustainable mobility.

Keywords: highway safety, highway limitations, highway accidents, highway design

1. Introducción

1.1. Antecedentes

La ingeniería moderna ofrece herramientas significativas en los ámbitos industrial e informático, que, aplicadas correctamente, pueden regular el tráfico vehicular y resolver conflictos de circulación de

manera efectiva y sostenible. Aunque existen antecedentes internacionales como el trabajo de Almerco Urbano (2024)[1], estos esfuerzos no han sido centralizados lo suficiente, excepto en países donde las conductas cautas y precavidas de los habitantes predominan.

1.2. Justificación

Toda acción que permita minimizar riesgos que llevan las vías de circulación de las autopistas, son acciones necesarias e indelebles. Podríamos aplicar el principio "kaizen-5S" de Toyota, el cual se refiere a la *mejora continua* [1], en donde hacer visibles problemas de calidad, permite superarlos.

Cada día más se presentan nuevas *vías rápidas*, para reducir tiempos de viaje, pero ese incremento en el uso debe soportar un aumento en la *seguridad*. Hemos elegido como muestra para nuestro estudio, las salidas e ingresos de la autopista Panamericana ramal Pilar, entre el km 50 y 55 que presentan tres diferentes diseños y conflictos.

La Autopista Panamericana fue inaugurada el 5 de julio de 1941. El ramal Pilar, junto con las reformas de la Av. General Paz, *se inauguró en 1993* [2] en respuesta a la demanda de una mejor infraestructura vial para la región para conectar con la RN8. Los diseños originales de los cruces y bajadas respondían a las necesidades de esa época, pero con el tiempo, se han evidenciado sus defectos debido al incremento del parque automotor. Uno de los problemas notables es la altura de los puentes, hoy ya modificado, que ha causado numerosos accidentes de camiones, según se observa en Figura 1.

Figura 1: Choque de tapa del contenedor con puente. Fuente: La Nación

El *parque automotor argentino* [3] creció desde 1993 hasta 2025 cerca de 50% y junto a ello, el uso de las autopistas. Como se observa en el caso de la Figura 1, hay muchos más desaciertos no contemplados adecuadamente en los diseños originales. Así ocurre con los vehículos que requieren salir o ingresar de manera segura y eficiente, dada la complejidad de accesos, han complicado la seguridad.

El diseño de las salidas no permite una circulación adecuada y coherente, y es aún más problemático cuando más crece la población en las localidades del AMBA. Debemos sumar la ausencia de señalización adecuada y anticipada y los conductores, solo se manejan con sus propios sistemas de navegación, sin la información local necesaria para tomar decisiones seguras. De hecho, hay escasas señales distribuidas, que no son suficientes para tan dinámica actividad de circulación.

El análisis de cada salida o ingreso varía ya que sus diseños también lo hacen. Las demandas iniciales llevaron a la realización de diseños en 1993 sin prever adecuadamente los importantes cambios que surgirían. Para este trabajo, fue necesario contar con la cooperación de las autoridades municipales, lo que nos ha permitido acceder a documentación estructural de cada cruce y evaluar la respuesta de los caminos alternativos en situaciones de congestión y descongestión.

[1] https://ensavellaneda-cba.infd.edu.ar/sitio/upload/sistema_de_produccion_de_Toyota.pdf
[2] Diario La Nación, 1993
[3] https://www.redalyc.org/journal

2. Objetivos de la investigación

2.1. Objetivo general

Mejorar la tasa de accidentes en las autopistas, durante la operación de salida de estas, ya que consideramos que los diseños de la infraestructura y señalizaciones de las salidas de las autopistas generan suficientes conflictos que aumentan considerablemente los accidentes.

2.2. Objetivos específicos

1. Mediante la reformulación del diseño de la infraestructura de los desvíos de las salidas de las autopistas, los vehículos que salen de la misma encuentran caminos liberados de vehículos detenidos, logrando una libre circulación y el desagote rápido de quienes abandonan la vía rápida.
2. Mediante una adecuada señalización que, utilizando nuevas tecnologías en la toma de imágenes y analítica, ante un inminente congestionamiento de una salida por diferentes motivos, obliga a los vehículos realizar rápidamente maniobras de desvío y escape de sus carriles para dirigirse a otras vías con diferentes alternativas de salidas, también señalizadas evitando incrementar la concentración de vehículos en las vías obstruidas.

3. Hipótesis de investigación

En el trabajo que estamos presentando, hemos seleccionado solo dos hipótesis, ya que consideramos que estas aportan innovaciones cruciales para alcanzar el objetivo general propuesto. Existen otros objetivos e hipótesis a desarrollar, como la calidad de vida, el impacto ambiental, la autonomía automotriz, entre otros, que quedan como tareas pendientes para futuras líneas de investigación. Las limitaciones que hemos asumido en nuestro trabajo no nos han permitido abordar todos los objetivos e hipótesis adicionales, aunque estamos conformes en lo que consideramos que se ha logrado.

3.1. Hipótesis general

La simple corrección de los diseños de salidas y una buena señalización anticipando esos escenarios de conflicto, disminuyen en forma importante esos siniestros.

3.2. Hipótesis específicas

1. Mejora en los diseños de los cruces disminuye los conflictos en las salidas de las autopistas y por consiguiente mejoramos nuestra tasa de accidentes.

2. La instalación de sistemas de señalización inteligente disminuye la frecuencia de colisiones en los puntos de encuentro conflictivos.

4. Definición de variables

Es importante para el nuestro desarrollo definir variables que permitan a los ordenadores evaluar en forma cuantitativa la complejidad de cada congestión y con mayor facilidad lograr la toma de decisiones ante los determinados conflictos de tránsito que se presentan en cada congestión. Definimos así *puntos de encuentro*, que se trata de encuentros de vehículos con grados de complejidad para resolver su *desencuentro*, es decir que los vehículos que los conforman queden nuevamente liberados.
Delimitamos entonces tres *grados de* congestión o de *puntos de encuentro*:

Categoría	Dependencia de liberación
Grado 1	Encuentro con solo de un solo vehículo de frente.
Grado 2	Encuentro simultaneo con 2 o más vehículos de frente.
Grado 3	Ingreso a un anillo de varios vehículos: anillo cerrado – [at]

Figura 2: Puntos de encuentro. Fuente: Propia

En la Figura 2, observamos los tres grados de congestión que encontramos en la salida de una autopista, lo cual también ocurre en rotondas, cruces sin señalización y otras tantas situaciones que a diario se nos generan al circular con nuestros automóviles.
Es posible definir una mayor cantidad de grados de congestión, pero para el desarrollo de nuestro trabajo, nos centraremos únicamente en esos tres.

4.1. Definición de Indicadores

Para avanzar en cada etapa del proyecto, fue necesario trabajar junto al Municipio de Pilar y la Cámara SCIPA[4], donde ambos representan la mayoría de los usuarios de nuestro interés. Esto nos permitió acceder a documentación histórica y organizada de cada cruce y evaluar la eficacia de los caminos alternativos en situaciones de congestión. Además, accedimos a normativas de tránsito locales, provinciales y nacionales, facilitando un estudio detallado de las alternativas de circulación permitidas por dichas normativas.

Los cruces de la autopista Panamericana pueden ser túneles o puentes, definidos como pasos que permiten atravesar la autopista ya sea por debajo (túneles) o por encima (puentes). En este estudio, se analizaron tres cruces específicos: Ruta 25 y El Chingolo, ambos túneles y Champagnat, puente. Generalmente, los cruces llevan el nombre de la calle o avenida en la que se encuentran.

4.2. Punto de Encuentro Grado 1

Lo podemos visualizar en la foto 5, donde se puede observar que el 1° vehículo a la izquierda (colectivo azul y verde) no puede liberarse hasta que no libere el paso el 2° vehículo (automóvil blanco). Surge un nuevo punto de encuentro, porque la camioneta blanca aprovecha el primer punto de Encuentro para cruzar y genera un nuevo conflicto.

Figura 3 – Punto de Encuentro grado 1. Fuente Plataforma Urbana

4.3. Punto de Encuentro Grado 2

Lo podemos visualizar en la Figura 4, donde se puede observar que el 1° vehículo (camioneta blanca) no puede liberarse hasta que no libere el paso el 2° vehículo (auto blanco) y no libere el paso el 3° vehículo (camioneta de transporte de garrafas).

[4] https://www.linkedin.com/company/scipa-camara-de-comercio-de-pilar/

Figura 4 – Punto de Encuentro grado 2. Fuente Noticias Argentinas

5. Planteamiento del Problema

Cuando analizamos las congestiones en las salidas de las autopistas, nos referimos a que las mismas poseen infraestructura de desvíos y bifurcaciones hacia distintas direcciones y también hacia cruces de estas si hay puentes o pasos bajo nivel de estas. Los conductores, buscamos siempre las vías más descongestionadas y sin prever lo que el resto de los conductores tienen en mente, realizamos maniobras que seguramente nos llevan a un grado de cogestión, según los definimos antes. Para evitar esas situaciones, debe haber alguien que haya pensado cuales son las posibles maniobras que se nos presentan en cada salida.

Resolviendo esa situación, no tan sencilla, cuando se presentan tantas alternativas posibles en una salida de autopista, podríamos decir con cierta seguridad que evitamos la generación de estos.

Este problema no es nuevo, en su trabajo Fernández & Dextre (2008), muestran un análisis muy complejo del tema, tanto en salidas de autopistas, en cruces ferroviarios, rotondas y otras tantas situaciones de congestionamiento, esto ha resultado en muchas horas perdidas en largas filas, donde se frustraron importantes compromisos y trabajos. El uso de tecnología avanzada en la gestión del tráfico proporciona información en tiempo real y alertas proactivas a los conductores, lo cual es fundamental para reducir incidentes y mejorar la seguridad vial. Los sistemas de señalización inteligentes pueden adaptarse a las condiciones cambiantes del tráfico, mejorando la eficacia de las medidas preventivas y la gestión de la congestión en las salidas, especialmente en los puntos de encuentro de distintos grados.

Un aspecto crítico de este estudio son las colas de espera para lograr salir de la autopista, invadiendo carriles rápidos. Esta situación no solo obstruye la circulación fluida, sino que también incrementa significativamente el riesgo de accidentes debido a la falta de previsión y cálculo de las maniobras que los conductores deben realizar. La implementación de tecnología avanzada puede mitigar este problema, proporcionando señales anticipadas y en tiempo real para que los conductores puedan tomar decisiones seguras y eficientes.

Además, los muestreos estadísticos en diversas condiciones proporcionarán una comprensión integral de los factores que influyen en los accidentes y las congestiones, permitiendo una mejor planificación y diseño de las infraestructuras viales.

5.1. Muestreo Estadístico

La necesidad de un muestreo es crucial para la creación de una base de datos que permita el entrenamiento de la inteligencia artificial conocido como "*machine learning*", distribuyendo los datos en los aspectos relevantes para nuestro trabajo. Este muestreo se realizará de forma aleatoria, y la cantidad de muestras a considerar dependerá de la información proporcionada por cada estrato, que

es una subdivisión homogénea de la población basada en características específicas. Hemos decidido distribuir los datos en cinco estratos, aunque podrían ser más, dependiendo del nivel de precisión que se necesite en el trabajo, lo que permite una gama más amplia de alternativas.

5.2. Diferentes estratos para considerar en la estadística

Es necesario mantener una base operativa de información que apoye nuestros protocolos de información adquirida por los diferentes sensores, que proveen información "*on line*" a los procesadores.

1 *Horas del día*: muestreos en diferentes horarios para identificar picos de tráfico y accidentes.

2 *Días de la semana*: Muestreos durante los días laborales y fines de semana para observar variaciones en el tráfico.

3 *Épocas del año*: Muestreos en diferentes estaciones del año para identificar variaciones estacionales en el tráfico y los accidentes.

4 *Tipos de vehículos*: Análisis de accidentes y congestiones según diferentes tipos de vehículos (automóviles, camiones, motocicletas, etc.).

5 *Condiciones del tiempo*: Muestreos bajo diversas condiciones climáticas (soleado, lluvia, nieve, etc.) para evaluar su impacto en los accidentes y la congestión.

5.3. Marco teórico

Para la realización de este trabajo, limitamos nuestro estudio a tres puentes sobre la autopista Panamericana ramal Pilar. Estos cruces de la autopista se encuentran en la jurisdicción del municipio de Pilar.

Cruces estudiados

Las características de estos cruces son muy diferentes, según se observa en la siguiente figuras.

Figura 5, Cruce Av. Champagnat

Figura 6, Cruce Calle El Chingolo

Figura 7, Cruce Ruta 25

Fuente: "Google-Maps"

5.4. Estado del Arte

Se realizó una evaluación lógica de la situación problemática planteada y de mejoras[5] en la direccionalidad del tránsito vehicular que fluye en el entorno de los cruces indicados para evitar de esta manera que siga produciéndose la importante congestión vehicular. El aspecto lógico de la ingeniería formó parte fundamental en el análisis del ordenamiento. Han sido considerados los siguientes parámetros:

[5] Cuando señalamos: mejoras, nos referimos a cambios sugeridos y realizados en el cruce de la Figura 5.

1 Estructurales: Corresponden al diseño de cada cruce, que presentan particularidades inherentes a los diferentes desvíos. Hay cruces con salidas hacia dos, tres y hasta seis direcciones distintas.
2 Estadísticos: Se tomaron muestras del uso rutinario e histórico de las diversas vías involucradas, contemplando diferentes horarios del día y la noche.
3 Calendarios: Incluyen fechas y eventos específicos, como períodos vacacionales, feriados, días festivos y eventos sociales o institucionales que afectan el uso de las vías.
4 Internet: Se utilizaron datos obtenidos en tiempo real a través de aplicaciones como Waze[6], observado por Jeske, T. (2013). y "*Google Maps*", el que fue desarrollado por Vázquez Beltrán, T. A. (2021)[2] , monitoreando así el flujo vehicular en forma “online” en zonas aledañas.
5 Programados: Contienen información proporcionada por las autoridades sobre obras de mantenimiento de redes de servicios públicos, que se nos debe notificar anticipadamente.
6 Emergencia: Considera la habilitación de vías de escape y rápida circulación para vehículos con privilegio de paso, como ambulancias, bomberos y policía.

Para resolver la problemática planteada, realizamos una evaluación lógica y la mejora en la direccionalidad del tránsito vehicular en los cruces indicados, con el objetivo de evitar la continua congestión vehicular. El análisis es lógico y se fundamenta en que dos vehículos no pueden estar al mismo tiempo en un mismo lugar. Implementación de equipos de señalización y toma de datos inteligentes.

Basado en la evaluación de los datos e información recopilada, se concluye que es posible controlar los dispositivos de señalización obligatorios para los vehículos, asegurando así un nuevo direccionamiento ordenado del tránsito vehicular que minimice las situaciones de conflicto.

5.5. Búsqueda en la actividad científica

Durante los últimos meses, oportunidad que nos propusimos realizar esta tarea, hemos encontrado diferentes formas de abordar la situación, lo cual nos permitió por los diferentes canales de búsqueda localizar los siguientes casos que consideramos más relevantes entre otros tantos:

Autor	año	Referencia bibliográfica	Medio	Descripción	Categoría
Hernández Jurado	2023	3	UPS edu Perú	Reducción congestionamiento	Desarrollo estructural
Burgos Sánchez	2017	4	UGC edu Colombia	Simulación	Infraestructura
Pérez Gutierrez	2020	5	UPS edu Perú	Diseño	Desarrollo estructural
Spyropoulou	2008	6	UK Limited	Controles y multas	Disciplina vehicular
Park & Kim	2016	7	The Journal of Supercomputing	Bigdata	Informática
Liu & Li	2014	8	Reliability Engineering & System Safety	Análisis de riesgo	Diseño de sistemas

[6] Jeske, T. (2013). Floating car data from smartphones: What google and waze know about you and how hackers can control traffic. Proc. of the BlackHat Europe, 60.

Figura 8: tabla revelando trabajos de inteligencia en salidas de autopistas. Fuente propia.

5.6. Información relevante

Comenzamos con el planteamiento del problema desde una perspectiva legal y técnica, analizando las normativas municipales, provinciales y nacionales. Afortunadamente, descubrimos que las tres instancias han unificado sus criterios de regulación del tránsito, permitiendo una casi unificación nacional de las reglamentaciones. Sin embargo, algunas provincias y municipios aún no se han unido a este impulso regulatorio, lo que está llevando a diferentes negociaciones para lograr un criterio legal unificado.

Estudiamos el origen de la problemática generada en las congestiones y confeccionamos un Mapa de Actividad Inteligente en relación con las reglamentaciones actuales, trabajando en cada cruce de manera independiente. La problemática comenzó a principios de los 90, cuando por motivos estratégicos electorales se inauguró rápidamente el tramo de la autopista Panamericana Oeste, lo que condujo a la situación actual repetida en la mayoría de los cruces.

En las primeras etapas, estudios locales y regionales de normativas de tránsito revelaron que la circulación vehicular actual incurre en numerosas contradicciones normativas. Pilar adhiere a la Ley Provincial de Tránsito 13927 y a la Ley Nacional de Seguridad Vial 26363, que modifica la Ley Nacional de Tránsito 24449. Observamos que, con los diseños actuales de circulación en las salidas, se transgreden normativas lo que termina generando incidentes.

Herbert W. Heinrich (1962), pionero en seguridad en USA, demostró que "*por cada accidente con lesión grave, hay 29 con lesiones menores y 300 sin lesiones*". Según los autores Cho, Kim, Khan y Lee (2023), que utilizan la ley de Heinrich en incidentes de tráfico, se observa que las lesiones aumentan en proporciones de la pirámide, y es proporcional a la población.

La población de Pilar pasó de 299,000 en 2010 a más de 395,000 en 2022 según el INDEC [7], superando las proyecciones. Este incremento se debe en parte a la afluencia de proveedores y clientes atraídos por el Parque Industrial de Pilar, uno de los más importante de América Latina.

Para hacer un análisis no encontramos estadísticas locales, y menos aún nacionales sobre esa región, por lo que haremos una comparación con respecto al artículo de Reyes, Sánchez, Hernández & Alanís (2012), donde los autores observan que en la medida que crece la población, crecen la cantidad de accidentes, y con pendientes de crecimiento elevados.

Basándonos en estos estudios, podemos decir que una parte considerable de la población utiliza los cruces y la autopista en la región de estudio, demandando un sistema de señalización acorde a estas circunstancias.

6. Procedimiento de la Investigación

6.1. Análisis y Soluciones para Puntos de Encuentro en Cruces de Autopista

En las salidas de la autopista se identificaron diversos Puntos de Encuentro mediante relevamientos "*in situ*" en horarios conflictivos. Estos datos permitieron crear mapas de conflictividad, esenciales para desarrollar soluciones eficaces. La valoración del conflicto es crucial: a mayor grado y cantidad de conflictos, mayor esfuerzo requiere su resolución.

La Ingeniería Informática, nos facilitó rápidamente el mapa de resolución de estos conflictos. Esta herramienta ofrece alternativas de desplazamiento vehicular, anticipando maniobras para evitar la

[7] https://biblioteca.indec.gob.ar/bases/minde/2mi446.pdf

creación de nuevos conflictos. Sin embargo, el comportamiento humano, influenciado por factores imprevisibles, no puede ser completamente pronosticado.

El análisis de los conflictos mostró la conveniencia de liberar el tránsito por circulación alternativa en función del peligro que representan. Las mediciones indicaron que los vehículos detenidos sobre la autopista, especialmente en inmediaciones a una salida, presentan el mayor riesgo de graves accidentes, agravado por malas prácticas, de adelantarse por la derecha.

Según la Ley Nacional de Tránsito, que prohíbe la detención de vehículos en autopistas, se requiere un sistema inteligente que guíe a los vehículos para evitar estas situaciones de alto riesgo, además de descongestionar los propias salidas.

Una distribución adecuada de dispositivos de entrada y salida en un ordenador es esencial. Una correcta electrónica puede controlar el ingreso y egreso de vehículos mediante señalización adecuada, indicando nuevas salidas y su estado. Hemos considerado los sistemas Waze y Google Maps [8] para alertar a la comunidad, aunque existen otros tantos.

6.2. Prioridades de diseño para cada cruce

Los diseños de cada salida o ingreso a las autopistas dependen de varios factores que se relacionan con aspectos inherentes al diseño, año de construcción, cantidad de avenidas que confluyen, cruces a la mano contraria, ingreso a las colectoras, etc. Todos estos aspectos condicionan el diseño de la señalización de la liberación de los conflictos que se generan, objeto de nuestro trabajo. Sin embargo, lo más importante son las emergencias, y para ellas se deben tener en cuenta dos aspectos siguientes:

1 **Liberar el ingreso al cruce por salidas alternativas.**

Se trata de no permitir la ingreso de vehículos a una entrada o salida y señalizar vías alternativas.

2 **Invalidar las salidas o entradas mediante señalización anticipada.**

Esa señalización debe estar amparada legalmente por los respectivos reglamentos de contravención.

La foto 6 indica una importante congestión sin ser utilizada la salida alternativa, y la figura 7 ilustra congestión causada por permitir ingreso por entrada que debería derivarse a vías alternativas.

Figura 9: congestión. Fuente: Infobae y Figura 10: congestión. Fuente: Crónica

[8] Trapsilawati, F., Wijayanto, T., & Jourdy, E. S. (2019). Human-computer trust in navigation systems: Google maps vs Waze. Communications in Science and Technology, 4(1), 38-43.

Figura 11, colapsa la salida de Panamericana. Fuente Infobae

Figuras 12 y 13: origen del colapso del ingreso al cruce. Fuente Propia

Figura 14: Vehículo detenido en carril derecho, embestido por quien se adelantó por la derecha. Fuente: *Infobae*[9].

6.3.Señalización electrónica

Para lograr efectividad y velocidad de respuesta en un Sistema Inteligente, es esencial contar con señalización electrónica avanzada que sea anticipativa, visible, segura y de bajo mantenimiento a lo largo del tiempo como son hoy las pantallas LED bicolor y multicolor, con la asistencia de nuevas tecnologías de UPS [10].

6.4.Fuentes de energías confiables

Hoy tenemos a nuestro alcance tecnologías de ininterrupción energética que garantizan la señalización continua. Además, ofrecen alta capacidad de almacenamiento en unidades más ligeras y compactas que las antiguas baterías de níquel, asegurando mayor rendimiento y duración.

[9] Pilar a Diario (2/04/2016). Accidentes con Heridos. http:// www.pilaradiario.com

[10] Unidades de potencia ininterrumpidas, Up, G., & Test, G. (2020). Internet. Gait Up.

6.5. Fuentes de energía fotovoltaicas

Los sistemas de señalización están en su mayoría a la intemperie lo que los hace favorecidos de fuentes de recarga fotovoltaica, las que además de reducir el consumo energético, aumentan la resiliencia de los sistemas ante la falta de medios tradicionales.

6.6. Pantallas visibles para la señalización vial

La señalización vial con estructuración mecánica y chapones colgados de cañerías o soportes metálicos se degradan ante los agentes meteorológicos y pierden su rol. En cambio, los paneles LED[11] de alta intensidad poseen bajo consumo, inferior peso y resiliencia a las condiciones climatológicas, tratándose de una tecnología que perfectamente reemplaza todo tipo de señalización.

La tecnología OLED[12], además de ser amigable con el medio ambiente, tiene superior prestación. En resumen, la señalización electrónica avanzada, respaldada por UPS y energía fotovoltaica, junto con tecnologías LED y OLED, garantiza una solución eficaz, segura y sostenible para la señalización en sistemas inteligentes.

Figura 15. Fuente Imply-Tecnología

En las pantallas de señalización, ampliamos su performance incluyendo indicaciones visuales de giros, semáforos, mensajes de advertencia, emergencias, etc. Actualmente, las tecnologías Wifi, 4 y 5G permiten información a distancia, respaldadas por alta seguridad informática.

Fue interesante observar en "*Biel Light Building*[13]" realizada en el Predio Rural de Palermo, la cantidad de innovaciones en cuanto a las prestaciones de las pantallas. Las empresas y los profesionales han exhibido diversas alternativas para el diseño e instalación de Pantallas Inteligentes LED y OLED.

[11] Pantallas LED, Light Electronic Diode. Bernal Díaz, C. Pantallas LED de gran formato en eventos: Tecnología de vanguardia, creatividad y estudio de caso.
[12] Pantallas OLED, Organic Light Electronic Diode. Núñez Cedeño, V. M., & Rodríguez Tubay, A. M. (2024). Uso de pantallas y su efecto en la fatiga visual en jóvenes que residen en la ciudadela universitaria, Babahoyo. Noviembre 2023-abril 2024 (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB-FCS, 2024).
[13] https://larural.com.ar/calendario/biel-light-building/

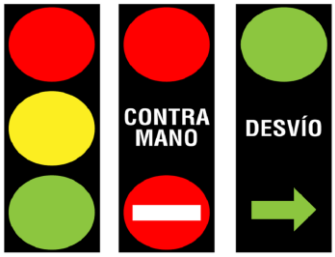

Figura 16: Pantallas LED emulando semáforos. Fuente propia.

Según lo observado, la construcción puede realizarse con paneles agrupados de LED denominados Matriz de LED, siendo su peso no significativo con tecnologías certificadas según la norma IP68[14].

En las Figura 15, hemos diseñado modelos de pantallas funcionando como semáforos en una zona distante.

6.7. Radar de Flujo

Existen otras alternativas para el relevamiento de información. Entre los "*hardware*" disponibles en el mercado, hemos identificado diversos sistemas de detección de vehículos que pueden integrar el Sistema Inteligente de Maniobras. Entre los más destacados se encuentra el Radar de Flujo, que se ubica fijo en poste.

1 Rayos con tecnología

Puede ser sónico o de microondas, compuesto por un emisor y un receptor de ondas electromagnéticas. Funciona mediante el efecto Doppler, que se produce al chocar un tren de ondas contra un objeto en movimiento.

2 Uso

Utilizado para medir el flujo de tránsito: cantidad de vehículos.

3 Instalación

Tiene un costo de instalación bajo, ya que se ubica en un poste de al menos 4 metros de altura y solo requiere conexión a la red eléctrica.

4 Alcance

Mide hasta 70 metros por carril. La capacidad del radar depende de la altura de instalación, permitiendo un máximo de 10 carriles, independientemente de la dirección del movimiento.

5 Almacenamiento de Datos

La información se almacena en una memoria interna conectada a un módem, lo que permite el acceso remoto a los datos mediante conexión a la red.

[14] Uso de NORMA IP-68. da Silva Pontes, R., Oliveira, A. C., de Campos, M., Sausen, P. S., & Sauthier, L. F. Sistema Isolado para Transmissao de Sinais PLC entre Terminais de BT e MT de Transformador de Potência de Redes Elétricas Subterrâneas.

Figura 17: Ilustración de sistema de rayos. Fuente: Tecno Seguro

Este equipo es de gran costo comparativamente. Pero no requieren demasiado mantenimiento, ni necesitan tiempo y trabajo de instalación en exceso.

6.8. Sistema de Espiras

Los detectores de lazo o espiras emplean la inductancia para identificar vehículos, utilizando un cable bajo el asfalto que genera un campo electromagnético. La presencia de un vehículo se detecta por la disminución de la inductancia cuando el vehículo, compuesto de materiales conductores, atraviesa este campo. Una espira detecta un solo vehículo, mientras que varias espiras pueden medir características adicionales como la velocidad. La siguiente figura muestra el sistema de espiras:

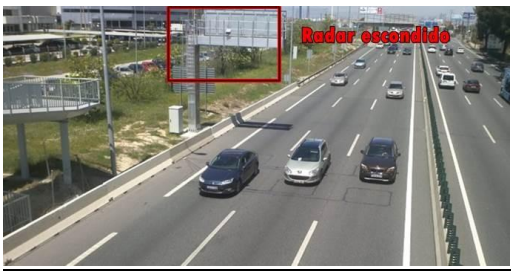

Figura 18: radar y sistema de espiras en el asfalto. Fuente: Pyramid Consulting

La instalación de este sistema es más costosa debido a la necesidad de trabajar sobre la calzada y detener el tránsito temporalmente, aunque los componentes son baratos y el mantenimiento representa solo el 10% del costo inicial. No es ideal para áreas congestionadas, ya que el peso constante puede desgastar la espira, por lo que se usa principalmente en rutas y autopistas.

6.9.Sistema de Lectura de Patentes - LPR

Los sistemas de video-detección se utilizan para la detección automática de incidentes y la medición del tráfico en autovías y autopistas. Están diseñados para integrarse con sistemas de gestión de tráfico avanzados, usando cámaras de vídeo estándar (color o blanco y negro, fijas o móviles) equipadas con tecnología de análisis de imagen para analizar todos los carriles y sentidos de circulación hasta 500 metros.

Las secuencias de vídeo digital relacionadas con cada incidente se almacenan en una base de datos, permitiendo un análisis detallado de eventos recurrentes a través de algoritmos de procesamiento de datos.

La lectura automática de la patente convierte los píxeles de la imagen digital en texto ASCII de la matrícula, utilizando software de reconocimiento óptico de caracteres, OCR[15].

[15] https://pdf.abbyy.com/es/learning-center/what-is-ocr/

Foto 19: Señalización actual, con OCR. Fuente: Propia

El sistema incluye dos cámaras: una para detectar el vehículo y otra para enfocar la zona donde se ubica la patente. Al recibir la señal de presencia de un vehículo la cámara captura entre 1 y 5 fotos. Estas son procesadas y analizadas por el algoritmo de reconocimiento óptico de caracteres, OCR. Los datos del reconocimiento son almacenados en una base local y en un motor de base de datos SQL conocido como: lenguaje de programación del sistema.

Ante la presencia de un vehículo, el sistema puede recibir un pedido de reconocimiento, el cual es almacenado en memoria por número de transacción o por patente. Luego, ante una necesidad de reconocimiento del vehículo se puede especificar la búsqueda en la base de datos por número de transacción o por patente. Esta petición se puede realizar en cualquier momento.

Por otra parte, la Policía de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires utiliza Lectoras Ópticas de Caracteres (OCR). Podemos incluir como ejemplo el SIT CABA[16], sistema inteligente de tránsito de la ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Nuestro análisis recomienda los dos últimos sistemas ya que pueden detectar si el móvil es un Automóvil, Pick Up, Camión, Micro, Ambulancia, Bombero o Policía.

7. Resumen de los principales aciertos y hallazgos

Para poder evaluar la validez de nuestra hipótesis, realizamos medición de conflictos, durante períodos de tiempo similares. Para ello nos instalamos en el mismo cruce y observamos cada incidente, mientras se registraba en un mapa de cada sector del cruce. Marcamos los cuatro puntos cardinales del cruce para identificarlos mejor. Adquirimos así, la suficiente información como para realizar una prueba de incidentes en uno de esos puntos.

Lugar del experimento: Cruce en puente de la Av. Champagnat con Panamericana, Figura 5.
Horario de la toma de datos: 16 a 19 horas
Días elegidos: viernes
Cantidad de días: 32
Realizamos el siguiente cuadro de datos referidos siempre a la Figura 2:

Zona	Norte del cruce	Sur del cruce	Salida autopista oeste	Entrada autopista este	Salida colectora este	Ingreso colectora oeste
Incidentes	36	6	2	11	16	4

[16] http://movilidad.buenosaires.gob.ar/sistema-inteligente-de-transito/

Figura 20: tabla de medición de incidentes. Fuente: propia

El cruce estudiado que se refleja en la tabla anterior se realizó cuando el mismo poseía doble mano en dirección norte-sur y las colectoras también poseían doble mano este-oeste. Esto generaba una cantidad de conflictos que muchos de ellos terminaron en incidentes[17].

La mejora de la cantidad de incidentes resuelve la cantidad final de accidentes, según lo estudia Bento, Romero & Freitas (2014) donde marcan bien claro que cada 600 incidentes, ocurre un accidente grave.

Esto nos llevó a rediseñar cada uno de los accesos, sus direcciones y sentidos. Luego, presentamos la propuesta al señor Martín Acosta, quien ejerciera el puesto de director de tránsito de Pilar que, tras confirmar nuestros datos con su equipo de colaboradores, implementó la reforma de inmediato.

Hoy, la nueva arquitectura de la direccionalidad del puente y sus ramales de acceso, colectoras, entradas y salidas a la autopista ha permitido disminuir notablemente los incidentes señalados, eliminándolos por completo en ese puente de la Figura 5.

Esta situación nos permite confirmar la segunda hipótesis, donde con experimentos y muestreos que involucran cada región de los cruces, se pueden lograr importantes soluciones.

Además, los aspectos de señalización inteligente, cosa que no hemos podido experimentar, por razones de las propias limitaciones de nuestro trabajo, conlleva a que se deben abordar combinaciones eficientes de periféricos de entrada y salida mediante las disciplinas que la Ingeniería nos plantea en la Revolución Industrial 5.0 [18], asegurando la no interferencia con otros equipos a través de Protocolos de Seguridad Informática.

Después de un exhaustivo análisis y colaboración con empresas, se adoptó el protocolo NTCIP como estándar en la organización vehicular, garantizando la operatividad y funcionalidad de dispositivos de control de tráfico de distintos fabricantes.

El protocolo NTCIP[19], basado en una arquitectura Cliente-Servidor, es el principal método para las aplicaciones de ITS (Sistema de Tránsito Inteligente). Históricamente, los sistemas de transporte utilizaban protocolos propietarios incompatibles entre fabricantes, pero en 1996, un consorcio creó el NTCIP para resolver los diferentes problemas que fueron surgiendo en esos protocolos sectoriales.

La operatividad informática en los cruces de la autopista Panamericana (Tratado del Pilar, Cruce Champagnat y El Chingolo) se organiza como un sistema dividido en tres subsistemas, que pueden comunicarse entre sí para manejar congestiones, utilizando medios alámbricos o inalámbricos. Cada cruce puede contar con cámaras, detectores de patentes, dispositivos LED y su propia unidad de procesamiento, recomendando procesadores Intel i3 10º Gen, al menos 4GB de RAM y discos duros de 500GB.

Las comunicaciones pueden realizarse mediante redes inalámbricas IEEE 802.11b, conocidas como “Wi-Fi” o alámbricas tales como fibra óptica provistas por ARSAT[20] y/o cables CAT7a, construidos bajo normas 802.11b y 802.11g, siendo las redes alámbricas preferidas por su seguridad y rapidez.

El sistema operativo puede ser Windows, Mac Os, Linux u otro adecuado, y la aplicación de gestión de tránsito debe manejar en tiempo real la información de cámaras, enviando órdenes a semáforos y señalizadores para regular el tráfico, con intervención humana mínima pero necesaria en contingencias.

[17] Incidente es una situación irregular de tránsito sin logar daño alguno.
[18] Domínguez, L. A. P. (2024). Las principales tecnologías de la era de la industria 5.0. *Revista Ingenio*, *21*(1), 60-70.
[19] Zarpellon, B. O. (2024). Sistema integrado para monitoramento de variáveis energéticas do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba no contexto de Smart Campus.
[20] https://www.arsat.com.ar/infraestructura-tecnologica/red-federal-de-fibra-optica/

El proyecto utiliza observación, investigación y cálculo, destacando tres componentes clave: lectores de patentes, pantallas LED y microprocesadores, aplicables a cruces y otros sitios en autopistas.

La detección de patentes y su confrontación con bases de datos nacionales permiten priorizar vehículos de emergencia y gestionar el ingreso a los cruces.

8. Síntesis de los hallazgos importantes del proyecto

Como síntesis de nuestro trabajo, podemos destacar diferentes aspectos en relación con el objetivo principal de reducir accidentes en las autopistas originados en cruces o bajadas de las mismas:

8.1. Indicación de Rutas Alternativas

El sistema propuesto ayuda a los conductores a evitar congestionamientos proporcionando información en tiempo real a través de pantallas. Si un punto está congestionado, el sistema sugiere desvíos alternativos, ayudando a descongestionar las salidas mediante señalización inteligente.

8.2. Eliminación de Carteles Estáticos

Esta señalización se deteriora y deja de cumplir su función, además su visibilidad depende de la iluminación, el clima y otros factores. Consideramos que su reemplazo por sistemas de señalización con pantallas LED u OLED, dinámicas y adaptables al entorno, que emulan cambios en visibilidad, iluminación y condiciones climáticas extremas, va a permitir una buena y oportuna señalización de las maniobras, logrando resolver nuestra segunda hipótesis.

El deterioro de dichas pantallas hoy está previsto dentro las 150.000 horas, según explica la empresa Megalux[21], aunque con debida protección se puede mejorar ese rendimiento. También las pantallas se están produciendo más livianas, por lo que sus valores rondan entre 15 a 18 kg/m^2, según indica LG[22], lo que facilita la sustentación mecánica.

8.3. Seguridad de manejo en los conductores

Una señalización adecuada, confiable y oportuna fortalece la confianza de quienes transitan diariamente nuestras autopistas, permitiendo que se concentren plenamente en la tarea de conducir de manera segura.

8.4. Sostenimiento de la señalización

La señalización permanente, que opera eficazmente sin importar las condiciones climáticas y se basa en estadísticas precisas, facilita la circulación fluida y segura en las autopistas. Esta señalización actúa "*on line*" durante todo el trayecto. En cambio, en la señalización fija los anuncios quedan muchas veces ubicados en forma discrepante a las maniobras requeridas.

9. Recomendación de otras líneas de investigación

Al establecer los objetivos de esta investigación, nos hemos enfocado en dos aspectos principales: la reforma o actualización de las vías o ramales de salida de las autopistas, y la señalización inteligente mediante el uso de "*machine learning*" y analítica avanzada. Estos objetivos fueron seleccionados para lograr una reducción significativa de los accidentes en las salidas de las autopistas.

No obstante, hemos dejado varias líneas de investigación para futuros estudios, como la mejora de la calidad de vida, la disminución del impacto ambiental y la autonomía vehicular, entre otros.

[21] https://megalux.es/puede-afectar-el-sol-del-verano-a-mi-pantalla-led-publicitaria/?form=MG0AV3
[22] https://www.lg.com/co/business/led-signage/gscd069-gn/?form=MG0AV3

Queda entonces la expectativa de poder integrar cada una de estas líneas de investigación en el futuro, con el fin de adaptar nuestras vías rápidas hacia una conducción más eficiente, eficaz y sostenible.

10. Conclusión

La investigación ha demostrado que la optimización de la arquitectura de los caminos en las salidas de las autopistas y la implementación de señalización inteligente son medidas efectivas para reducir accidentes de tráfico y mejorar la fluidez vehicular. En primer lugar, la modificación de la arquitectura de los caminos a donde se dirigen cada salida de las autopistas, enfocándose en eliminar errores que generan conflictos de tránsito, ha mostrado resultados prometedores.

El experimento realizado en la salida del puente de la Figura 5, evidenció que un diseño vial adecuado reduce significativamente los conflictos de tráfico y las colas de vehículos, que invaden los carriles rápidos de la autopista, mejorando así la seguridad y la eficiencia del tráfico. La implementación de esta propuesta por parte de las autoridades municipales resultó en una mejora notable, reafirmando la importancia de un diseño vial adecuado.

Por otro lado, la señalización inteligente apoyada en gigantes pantallas LED y entrenada mediante "*machine learning*" presenta un enfoque innovador y prometedor para mejorar la seguridad en las salidas de las autopistas. Aunque los resultados definitivos aún están pendientes de ser evaluados mediante encuestas a los usuarios, la implementación de señalización dinámica que guíe a los conductores hacia salidas alternativas en situaciones de conflicto tiene el potencial de reducir accidentes y mejorar la experiencia de conducción. La evaluación futura mediante encuestas a los usuarios permitirá confirmar la efectividad de esta medida y su impacto en la tasa de seguridad en las salidas.

11. Agradecimientos

Municipio de Pilar, por su respaldo y buena voluntad en la información suministrada.

Cámara de Comercio e Industria de Pilar, SCIPA por su apoyo incondicional en todo el trabajo.

Dra. Claudia Minnaard, Docente Post Grado, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, por su revisión.

12. Bibliografía

1. Almerco Urbano, E. O. (2024). Diseño de un sistema de automatización para optimizar la congestión vehicular en el Terminal Terrestre de Huacho-2023.
2. Bento, A. R., Romero, A. R., & Freitas, L. Implantação da pirâmide de heinrich na prevenção de acidentes em uma indústria automotiva. In *69º Congresso anual da ABM–Internacional e ao 14º ENEMET–Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica de Materiais e de Minas* (Vol. 21).
3. Burgos Sánchez, S. (2017). Análisis de alternativas de solución a la congestión vehícular en la autopista sur por Avenida Bosa (Bogotá-Colombia) con ayuda del software de micro simulación de trafico synchro.
4. CABA, disponible en: http://www.sctvial.com/como-funciona
5. Douglas Holtz-Eakin. «Congestion Pricing for Highways». Congressional Budget Office.
6. Fernández, R., & Dextre Quijandría, J. C. (2008). Elementos de la teoría del tráfico vehicular.
7. Hernandez Jurado, J. A., & Gomez Curasi, C. L. Propuesta para reducir el congestionamiento vehicular aplicando la metodología HCM 2010 en la Autopista Ramiro Prialé en el Tramo de la Av. Los Laureles-Av. Las Torres, Lima-2023.

8. INFOTECHNOLOGY (4 de enero de 2013), Sistemas Inteligentes de Transportes.
9. Instituto de Seguridad y Educación Vial, http://www.isev.com.ar
10. Park, S. H., Kim, S. M., & Ha, Y. G. (2016). Highway traffic accident prediction using VDS big data analysis. The Journal of Supercomputing, 72, 2815-2831.
11. Paula Vidal, (13 de junio 2016), Sistema Inteligente de Control de Tránsito
12. Peretti, N., Grassi, J., Marmol, G. B., & Herrera, J. (2019). Congestión vehicular en puentes críticos de Pilar. *Anuario de Investigación USAL*, (6).
13. Pérez Gutiérrez, G., & Ramos Lazo, B. F. Propuesta de rediseño geométrico de la intersección de la Av. Argentina y Jr. Pacasmayo para la reducción de las demoras por control.
14. Pilar es Noticias (22/03/2017). Intentan ordenar el tránsito sobre el Cruce Champagnat.
15. Sistemas Inteligentes de Transportes, (http://www.itsargentina.org.ar/)
16. Spyropoulou, I., Penttinen, M., Karlaftis, M., Vaa, T., & Golias, J. (2008). ITS solutions and accident risks: Prospective and limitations. Transport reviews, 28(5), 549-572.
17. Transporte Inteligente, https://www-05.ibm.com
18. Vázquez Beltrán, T. A. (2021). Monitoreo y Visualización del Tráfico Vial Mediante Dispositivos Celulares

Notas al final del trabajo:

[1] Almerco Urbano, E. O. (2024). Diseño de un sistema de automatización para optimizar la congestión vehicular en el Terminal Terrestre de Huacho-2023.
[2] Vázquez Beltrán, T. A. (2021). Monitoreo y Visualización del Tráfico Vial Mediante Dispositivos Celulares.