

EVALUACIÓN SOBRE RETOMES DE AUTOVÍAS ARGENTINAS

MEDIANTE MICRO-SIMULACIÓN DE TRÁNSITO

J. Rivera¹, L. Ricci², G. Das Neves³, L. Brizuela⁴, M. Oviedo⁴, M. Villanueva⁴

¹ Sub-Director LEMaC. Docente Investigador UTN. Director del Proyecto. E-mail: jrivera@frlp.utn.edu.ar

² Integrante LEMaC. Docente Investigador UTN. Co-Director del Proyecto.

³ Integrante LEMaC. Docente Investigador UTN.

⁴ Integrante LEMaC.

LEMaC, Centro de Investigaciones Viales, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata.

Av. 60 y calle 124 (1900), La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Tel/Fax: +54-221-4890413 – E-mail: lemac@frlp.utn.edu.ar – Web: www.frlp.utn.edu.ar/lemac

RESUMEN

Debido al mayor desarrollo poblacional en terrenos de llanura que se ha dado en Argentina, la mayor parte de las autovías se encuentran emplazadas en estas zonas, bajo características de entorno similares, con retomes simples, que en la mayoría de los casos ofician de puntos de ingreso y egreso a las mismas. El término Autovía es empleado en Argentina para denominar caminos con dos calzadas separadas por medio de un cantero central en el cual se posibilitan las maniobras de retome y el acceso de propietarios frentistas. De esta manera, la Autovía se encuadra en una categoría inferior a las Autopistas.

La necesidad de adecuar las características geométricas de estos retomes simples a las normas y técnicas de diseño actual, se ve supeditada en gran parte a un análisis económico que justifique la inversión.

Las herramientas de micro-simulación permiten evaluar un área determinada de la red vial y obtener indicadores representativos del comportamiento del tránsito que sobre ella circula. Por lo que, ante la intención de llevar a cabo el proyecto de una obra vial en una intersección, o sobre algún punto de la red vial, la micro-simulación posibilita, mediante el análisis de los indicadores obtenidos y su asociación a un costo de operación, predecir la conveniencia o no de intervenir de cierta forma en particular sobre una zona determinada.

En este trabajo se plantea como objetivo analizar mediante técnicas de micro-simulación, la conveniencia de realizar una intervención sobre los retomes existentes en las autovías de nuestra región, y como esa intervención repercute en la operación, la capacidad y la seguridad global del camino.

El mismo ha sido desarrollado por el Área de Estudios del Transporte del LEMaC, mediante convenio con la firma alemana PTV Traffic Mobility Logistics quien provee su software de micro-simulación VISSIM 5.10, siendo parte integrante del Proyecto de I+D que lleva por título "Empleo de micro-simulación de tránsito para análisis de soluciones viales", el cual a su vez cuenta con financiación de la filial argentina de la empresa PSA Peugeot-Citroën.

La metodología planteada contempla en forma general, la realización de un relevamiento topográfico y geométrico de la zona a intervenir, la confección de un proyecto geométrico que propicie la mejora buscada con la intervención, la micro-simulación del tránsito sobre el modelo calibrado para el retome antes y después de la intervención para distintos volúmenes vehiculares, la determinación de los costos de operación asociados y los costos de obra implicados, identificando por medio de indicadores técnico-económicos los niveles de demanda para los cuales resulta conveniente la intervención.

La validación del proceso de simulación debe realizarse mediante la calibración del modelo a través de sucesivos ajustes, de modo tal que los indicadores arrojados durante la simulación del retome antes de la intervención para los volúmenes de demanda efectivamente medidos en campo reflejen adecuadamente la situación real relevada.

Los resultados obtenidos permiten generar una tabla donde se reflejan los rangos de volúmenes vehiculares para los cuales el proyecto planteado resulta justificable.

Se puede concluir entonces que la aplicación de esta metodología de análisis se puede implementar en el estudio de casos análogos para otro tipo de soluciones viales.

INTRODUCCIÓN

Las herramientas de micro-simulación permiten evaluar un área determinada de la red vial y obtener indicadores representativos del comportamiento del tránsito que sobre ella circule. Por lo que, ante la intención de llevar a cabo un proyecto de una obra vial en una intersección, o sobre algún punto de la red vial, la micro-simulación posibilita medir la conveniencia o no de intervenir de cierta forma en particular sobre una zona determinada.

En este trabajo se plantea como objetivo analizar mediante técnicas de micro-simulación, la conveniencia de realizar una intervención sobre los retomes existentes en las autovías de nuestra región, que además en muchos casos funcionan como puntos de acceso y egreso de la misma, y como esa intervención repercute en la operación, la capacidad y la seguridad global del camino, identificando por medio de indicadores técnico-económicos los niveles de demanda para los cuales resulta conveniente la intervención.

El mismo ha sido desarrollado por el Área de Estudios del Transporte del LEMaC, mediante convenio con la firma alemana PTV Traffic Mobility Logistics quien provee su software de micro-simulación VISSIM 5.10, siendo parte integrante del Proyecto de I+D que lleva por título “Empleo de micro-simulación de tránsito para análisis de soluciones viales” ¹, el cual a su vez cuenta con financiación de la filial argentina de la empresa PSA Peugeot-Citroën.

METODOLOGÍA

Se ha establecido para el estudio, dos escenarios posibles:

- Situación actual: retome simple existente
- Situación con proyecto: retome proyectado con adecuados carriles de aceleración y desaceleración.

El procedimiento de análisis consiste en realizar diversas corridas de simulación para diferentes demandas de tránsito, sobre los dos escenarios posibles, de forma tal de establecer por comparación directa de costos y beneficios estimados, para qué valores de demanda resulta justificable intervenir sobre un retome existente.

Como primera medida se ha establecido como arteria de estudio a la Autovía 2, la cual posee una longitud de 370 km., y une a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con la ciudad de Mar del Plata, principal atracción turística sobre la costa argentina. La Autovía 2 tiene características marcadamente estacionales, con picos de 40.000 vehículos diarios en los meses de enero y febrero, y durante los fines de semana largo fuera de temporada.

La selección de los posibles retomes a ser analizados se ha basado en el análisis de las demandas existentes en su entorno, con el fin de seleccionar aquellos que posean una mayor frecuencia de operación, por lo que, contemplando la cercanía con el centro de operaciones ubicado dentro de la ciudad de La Plata, se han seleccionado tres posibles puntos de estudio:

- Autovía 2 y Calle 526 (periurbano con actividad productiva agrícola)
- Autovía 2 y Calle 515 (periurbano con actividad productiva industrial)
- Autovía 2 y Calle 496 (periurbano residencial)

¹ Proyecto de I+D Homologado por el Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación, Código 25/I034, Septiembre de 2007-Diciembre de 2010.



Retome sobre Calle 526

Retome sobre Calle 515

Retome sobre Calle 496

Basados en conteos volumétricos de tránsito se ha seleccionado para la evaluación, el retome ubicado sobre la Autovía 2 y Calle 496, por ser este el que ha presentado una mayor frecuencia de uso al contabilizar la totalidad de las maniobras de retome sobre la intersección. Éste, al igual que las opciones descartadas, no cumple con las características geométricas exigidas según lo dispuesto por las normas de diseño geométrico de carreteras vigentes en Argentina², como longitud de carriles de aceleración y desaceleración mínima y radios de giro principalmente.

Definido el punto de estudio se acudió al campo y se realizó:

- Relevamiento topográfico y de hechos existentes mediante nube de puntos con estación total.
- Censos volumétricos, de clasificación de tránsito, y de velocidades medias e instantáneas.
- Censo de intervalos de tiempo de ingreso al sistema.

Parte de estas tareas tienen como objetivo contar con datos que permitan inferir que lo simulado es capaz de reflejar ajustadamente lo medible, para de ese modo poder extrapolar las conclusiones, una vez que como datos de entrada se incluyan demandas de tránsito virtuales.

Consideraciones Generales

Para el análisis comparativo se han establecido:

Parámetros fijos:

² Capítulo de Intersecciones a Nivel dentro de las Normas de Diseño Geométrico Plano OB-2 de Carriles de Aceleración y Desaceleración de la Dirección Nacional de Vialidad.

- Tiempo de simulación de 1 hora.
- Tránsito compuesto sólo por automóviles³; con longitudes entre 4,11m. y 4,76m., un ancho de 2,14m., y desaceleración máxima de 4,00 m/s² (características medias de los automóviles del parque automotor argentino).
- Ingreso de los vehículos al sistema en intervalos con distribución normal.
- No considerar tasa de crecimiento del tránsito, lo que ubica el análisis del lado de la seguridad, ya que al no considerar el aumento de los vehículos en el tiempo no se estaría teniendo en cuenta el aporte producto del ahorro en los costos de operación de esos vehículos excedentes, al mismo tiempo que simplifica la labor de simulación.
- De los vehículos que ingresan al sistema sobre la Autovía, un 90% será pasante puro, un 5% tomará el retome, y el otro 5% saldrá de la Autovía⁴.

Parámetros variables:

- Volúmenes horarios cada 200 veh/h. por sentido sobre la Autovía y 100 veh/h. ingresando a la Autovía desde la calle de acceso; considerados como flujos de hora pico para el ingreso posterior a las tablas resultantes.

Parámetros Indicadores:

- Velocidad Media de Operación de todos los vehículos que han ingresado al sistema.
- Distancia Recorrida por todos los vehículos que han ingresado al sistema.

Micro-Simulación del Estado Actual.

En primera instancia, se debe modelizar dentro del software de micro-simulación, la geometría y las rutas, o trayectorias de circulación, que siguen los vehículos dentro de la obra vial en la situación actual. Se establecen además los modelos de conducción, prioridades de paso y la velocidad de flujo libre, definida actualmente en 120 km/h sobre la autovía y de 40 km/h en la calle de acceso.

Para validar la modelización realizada de la situación actual, y poder inferir que los indicadores que arrojaran las corridas de simulación representarán la realidad, se ingresa al

³ Se ha fijado el análisis en sólo automóviles como una simplificación, por lo que ante tránsitos con otra clasificación, el empleo de tablas resultantes deberá efectuarse tomando vehículos equivalentes para cada categoría, de forma tal de llevar el tránsito real a autos equivalentes. [Rivera J. et. al., Mini-Rotondas]

⁴ Porcentajes promedios correspondientes a las mediciones realizadas in situ.

sistema el tránsito efectivamente medido en campo para cada sentido y cada maniobra evaluada; se disponen además, puntos de medición de velocidad instantánea sobre la modelización en las mismas secciones donde se determinó en el campo, y se determinan también dos secciones por sentido sobre la autovía para medir el tiempo y la velocidad media de pasaje del vehículo por el tramo de ruta ubicado en coincidencia con el tramo evaluado en el campo.

Luego se efectúa una corrida de simulación y se obtienen los indicadores de velocidad instantánea, tiempos de pasaje y velocidad media sobre las secciones y tramos determinados en el modelo. Éstos indicadores se contrastan con los datos obtenidos en campo y se evalúa la validez de la simulación a partir de la similitud entre los datos obtenidos del software y los medidos en campo.

Ante discrepancias en lo simulado con lo medido, en primera medida se trabaja sobre:

- mayor ajuste de la geometría del modelo.
- revisión de las prioridades de paso: línea de detención, línea de influencia o percepción.
- áreas de reducción de velocidad para forzar el frenado en zonas donde se registraron detenciones de los vehículos en campo.

Luego se trabaja sobre parámetros más precisos como:

- aceleración deseada y aceleración máxima.
- desaceleración en condiciones normales y en situación de emergencia.

Y de forma complementaria se ha trabajado en:

- longitud necesaria ante el cambio de carril.
- separación media entre vehículos en la formación de cola.

Luego de ir ajustando cada uno de estos parámetros en función del comportamiento del conductor típico de la región hasta que los indicadores obtenidos de las corridas de simulación resulten comparables con los datos obtenidos en campo, se considera que el modelo se encuentra calibrado y por lo tanto todos los datos obtenidos de éste para distintas demandas de tránsito, resultarían válidos para reflejar el comportamiento esperable de la red bajo las condiciones dadas.

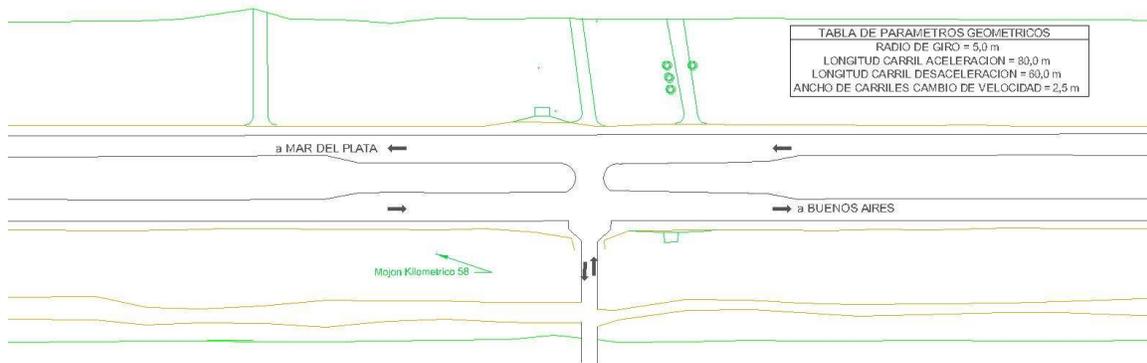


Figura 1: Esquema de la Situación Actual

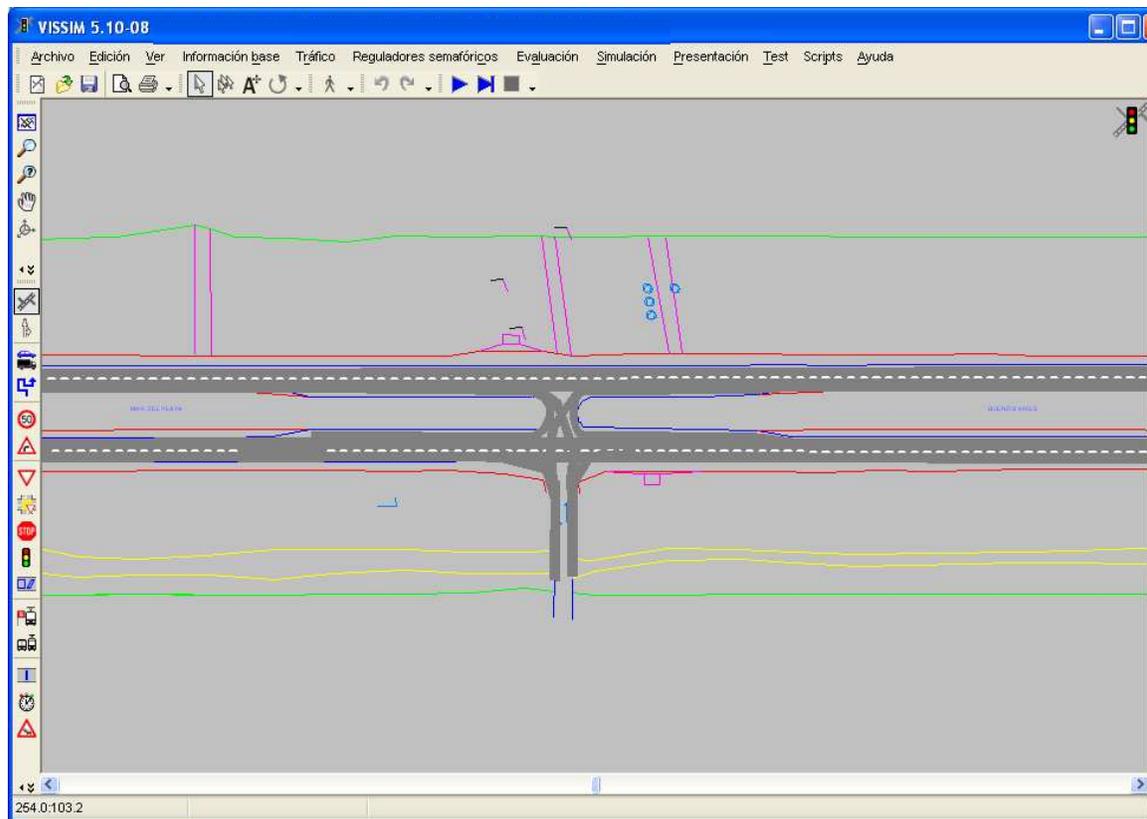


Figura 2: Modelización de la Situación Actual

Micro-Simulación de la Situación Con Proyecto

De la misma manera que para la situación actual, se modeliza el retome que se ha proyectado y que se pretende someter a evaluación.

Igual que antes la modelización debe considerar anchos de calzada, radios de giros, prioridades de paso, velocidad deseada y geometría propuesta en el proyecto.

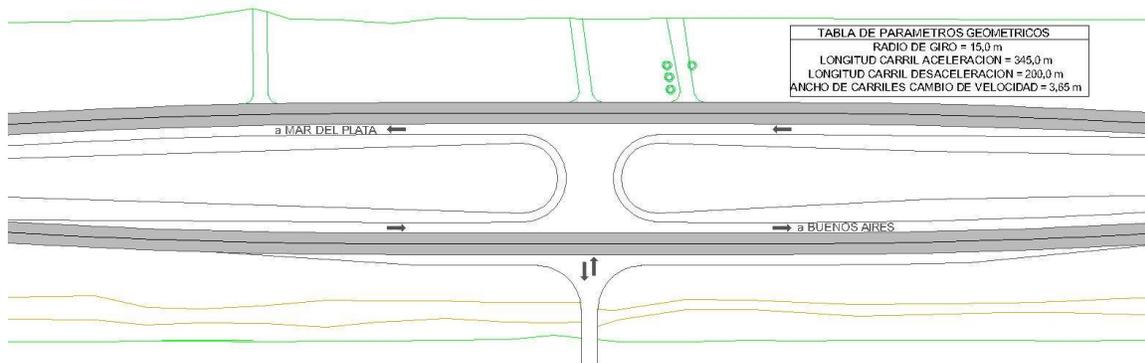


Figura 3: Esquema de la Situación Con Proyecto

RESULTADOS

Una vez efectuada la totalidad de las corridas de simulación, a través de los resultados obtenidos, se puede observar:

- El Volumen Total de autos registrados durante la simulación, ingresados de forma aleatoria por el propio software, fue el mismo en ambos casos, por lo que se ha mantenido independiente de la geometría planteada, tal como era esperable.
- Los Tiempos Totales dentro del sistema fueron siempre menores para la situación con proyecto, por lo que a pesar de un pequeño aumento en la longitud de recorrido del sistema, el tiempo de permanencia dentro del mismo es menor y por lo tanto hay un ahorro de tiempo.
- La Velocidad Media de Operación de los vehículos pasantes en la situación con proyecto ha aumentado con respecto a la situación sin proyecto, lo que resulta atribuible a la mejora en el diseño geométrico y aumento de la longitud de los carriles de aceleración y desaceleración que permiten que la maniobra de retome no interfiera sobre los vehículos pasantes, tal como era esperable.
- Del mismo modo, la Velocidad Media de Operación de los vehículos que realizan la maniobra de retome en la situación con proyecto ha aumentado con respecto a la situación sin proyecto debido al aumento del radio de giro otorgado, tal como era esperable.

- La Distancia Total Recorrida por todos los autos registrados, que también se puede obtener como el Tiempo Total multiplicado por la Velocidad Media de Operación, ha sido siempre menor para la situación con proyecto.

Cabe mencionar que además de las diferencias generadas entre la situación actual y la situación con proyecto como la disminución de los tiempos de viaje y el aumento de la velocidad media, se ha observado también, como era esperable, que la situación sin proyecto llega a la congestión para demandas del orden del 60% de las que provocan la congestión para la situación con proyecto.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A los fines de un análisis cuantitativo del trabajo, deben llevarse las comparaciones a términos monetarios. Para ello se procede al análisis aplicando las técnicas de evaluación económica de proyectos de inversión, donde se estiman los costos de las obras a ejecutar y los costos de operación durante su vida útil a precios económicos, es decir, los costos netos que representan la fabricación de un bien determinado, sin tener en cuenta los impuestos y/o subsidios aplicados con posterioridad y que modifican su costo original. Luego, mediante la aplicación de una tasa de descuento a los costos diferidos en el tiempo obtener un costo actualizado al día de hoy de todos ellos, y mediante la suma directa de éstos últimos, obtener un costo o Valor Presente Neto de la obra.

En primera instancia, teniendo en cuenta que a diferentes velocidades de operación se tienen diferentes costos asociados al uso del camino, expresados en \$/km, tanto para la situación actual como para la situación con proyecto, a partir de las distintas Velocidades Medias de Operación obtenidas de las corridas de simulación es posible asignar los costos de operación correspondientes para cada una de ellas mediante interpolación de los costos de operación indicados por Vialidad Nacional⁵.

Asignando los Costos de Operación obtenidos por interpolación para las velocidades medias a la Distancia Total Recorrida obtenida de la simulación, podemos obtener un Costo Total Horario de operación de todos los vehículos registrados durante la hora de simulación para los volúmenes de demanda indicados.

⁵ Publicación “Costos de Operación de Vehículos – Junio 2009” de la División Factibilidad, Sub-Gerencia de Planeamiento y Programación Vial de la Dirección Nacional de Vialidad.

Ahora bien, teniendo en cuenta que se establecieron dichos volúmenes horarios como volúmenes de hora pico, se puede considerar que éstos serían válidos para 6 horas diarias durante los días hábiles; y considerando 21 días hábiles por mes, con 12 meses al año, se puede extrapolar el costo total horario obtenido a un Costo Total Anual.

Complementariamente, para la situación con proyecto se deberá considerar el costo de inversión que implica la intervención y construcción del Retome Projectado sobre el existente, por lo que realizando el cómputo y presupuesto de la misma, y considerando que el suelo de base del paquete existente puede ser reutilizado como suelo de aporte para la obra nueva, se ha establecido el monto de obra, de acuerdo a precios económicos, en \$ 1.383.265 que será considerado como la inversión inicial del Retome de Proyecto. Cabe mencionar que se ha establecido como hipótesis que se cuenta con lugar suficiente para desarrollar el proyecto sin la necesidad de realizar expropiaciones, las cuales aumentarían el monto de la inversión.

Para la situación actual en cambio, dado que el retome ya es existente, no existe un monto de inversión y por lo tanto su costo es cero.

Ahora bien, considerando una vida útil de la obra de 25 años, se deben considerar los costos de operación de los vehículos durante ese período, tanto para la situación con proyecto como para la situación actual o sin proyecto, dado que el análisis plantea la comparación directa de los costos actualizados de cada una de las situaciones de obra, y para que ello sea válido, deben analizarse los costos de cada situación para un mismo período. Como esos costos representan gastos erogados en un tiempo futuro, el monto de dinero que se necesitaría hoy para llegar a cubrir ese gasto futuro, sería un monto menor, tal que aplicando la fórmula del interés compuesto llegue a tener en ese tiempo futuro el monto requerido. Por lo tanto conociendo el gasto futuro se puede aplicar una tasa de descuento durante el tiempo correspondiente y obtener el monto equivalente al día de hoy, denominado Valor Presente.

De esta manera, aplicando una tasa de descuento del 12% anual⁶, se obtiene el valor presente de cada uno de los costos anuales estimados para una demanda de tránsito dada en la situación con proyecto, y sumando todos ellos se determina el Valor Presente Neto o Valor Actual Neto (VAN) de la obra para esa demanda dada. Del mismo modo se obtiene el VAN de la obra para cada uno de las demandas de tránsito planteada.

Los mismos pasos se siguen para obtener el VAN correspondiente a cada combinación de demandas de tránsito planteada para la situación sin proyecto.

⁶ Tasa sugerida por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para actualización de flujos.

Del contraste entre los VAN obtenidos para ambas situaciones de proyecto y para una misma combinación de volúmenes vehiculares de demanda se define la opción más rentable para esa combinación de demanda, como la de menor VAN.

Del análisis de los costos para todas las combinaciones de demanda se puede confeccionar la Figura 4, en donde se muestra la validez de la construcción de la obra para las distintas demandas de tránsito.

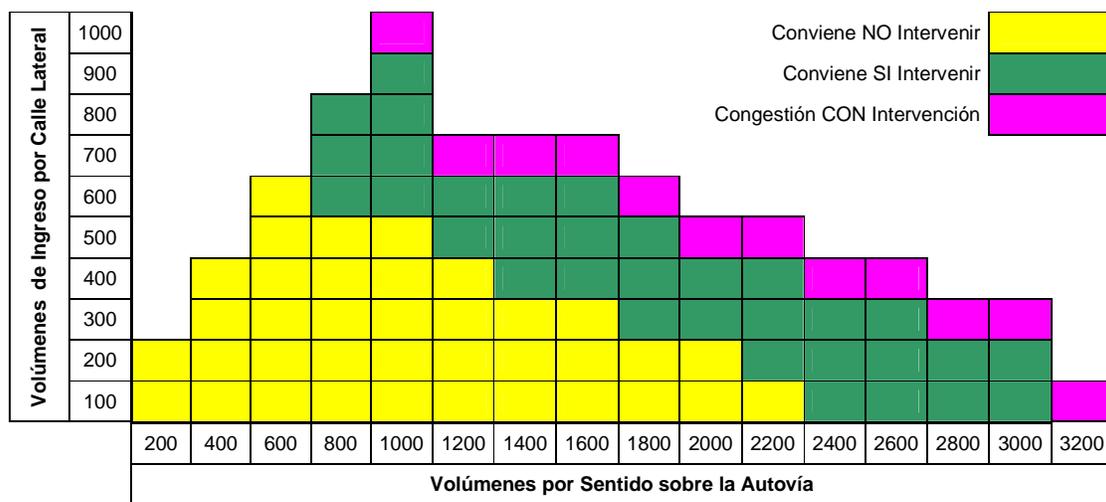


Figura 4: Campo de Validez de Intervenir sobre la Situación Actual

Si bien a partir de la construcción del proyecto existe una reducción en los costos de operación y por lo tanto un ahorro global del sistema para todas las combinaciones de demanda, acentuándose ese ahorro con el aumento de los vehículos; se puede observar de la Figura 4 que para volúmenes bajos e intermedios en general, no se ve justificada la obra desde el punto de vista económico, ya que el costo de inversión no alcanza a ser amortizado por los ahorros generados.

De la misma manera se observa de la Figura 4 que para altos valores de demanda sobre la autovía y bajos volúmenes sobre la calle de acceso, como así también para volúmenes intermedios sobre la autovía y volúmenes relativamente altos sobre la calle de acceso empieza a ser justificable intervenir sobre la situación existente y realizar la obra.

Se puede observar además, la combinación de volúmenes de demanda para los cuales el retome proyectado comienza a entrar en congestión, lo cual se corresponde con la necesidad de realizar el tratamiento de la intersección y retome a distinto nivel.

Ahora bien, si se plantea el caso de construir un retome como el proyectado o un retome simple como el denominado existente en este trabajo con el fin de generar un ahorro en los costos de obra, para realizar un nuevo análisis comparativo de esta situación se le deberá asignar un costo de inversión a cada alternativa.

En este caso se determina un monto de obra total a precios económicos para el Retome Proyectado, pero considerando ahora los costos que implican su construcción completa (sin el aprovechamiento de lo existente como en el caso anterior), asignándose un monto de \$ 1.904.893.

De la misma manera se asigna un monto de obra total a precios económicos de \$ 1.491.635 para un retome de las características del denominado existente.

Considerando ahora estos montos como los correspondientes a los de inversión inicial para cada alternativa y los costos de operación asociados a cada una de ellas para un período de 25 años, se calcula el Valor Actual Neto para cada combinación de volúmenes de demanda, al igual que en el primer análisis y se establece en la Figura 5 los volúmenes para los cuales resulta mas rentable cada alternativa.

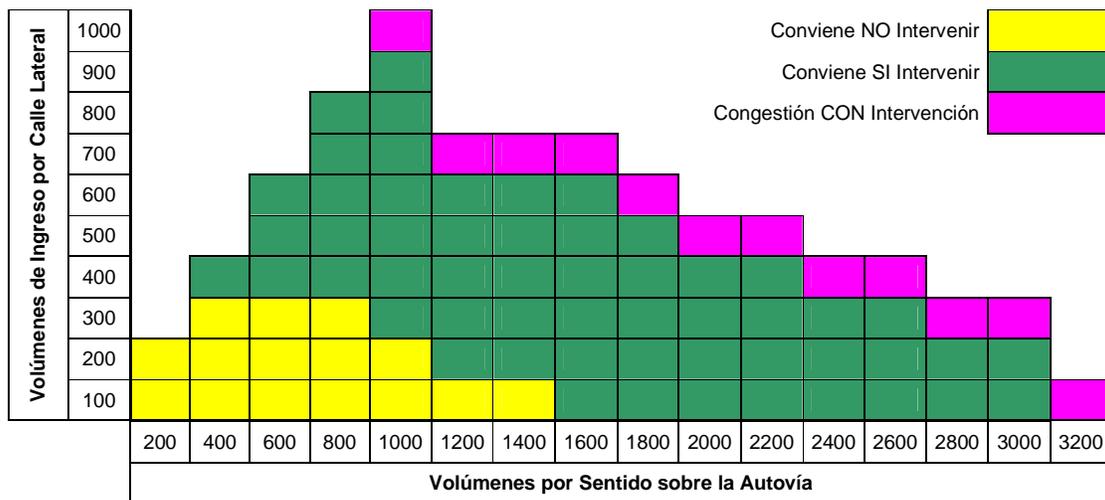


Figura 5: Campo de Validez para cada Proyecto de Retome

Del análisis de la Figura 5 se observa que considerando las dos propuestas como alternativas desde el inicio, salvo para combinaciones de volúmenes muy bajas, resulta siempre mas conveniente la construcción del Retome Projectado.

CONCLUSIONES

Del análisis técnico-económico realizado a partir de los indicadores obtenidos mediante la micro-simulación de los escenarios sin proyecto y con proyecto para el retome ubicado sobre la Autovía 2, y considerando que representa un retome típico sobre las autovías de nuestra región, se puede concluir:

- La demolición de un retome existente típico sobre una autovía de nuestra región que no cumple con las características geométricas correspondientes para la posterior construcción de un retome que sí las cumpla no resulta justificable para bajos a intermedios volúmenes de tránsito.
- Llevar a cabo la obra sería valido para volúmenes altos sobre la autovía o para volúmenes intermedios en la autovía y sobre la calle de acceso, y cuando no exista lugar para desarrollar una intersección a distinto nivel.
- Ante la situación de elección entre realizar un retome simple tradicional o el retome proyectado, salvo para bajos volúmenes de tránsito, siempre resultará mas económico realizar el retome proyectado según las normas de diseño correspondientes.
- Debido a la incertidumbre que existe en la cuantificación económica de las pérdidas materiales y no materiales, y a la falta de datos suficientes en investigaciones accidentológicas, no se ha tenido en cuenta en este análisis, los costos asociados a los siniestros viales, como choques por alcance debido a los grandes deltas de velocidad que se pueden generar en los retomes simples tradicionales. Por lo que sería recomendable siempre que fuera posible tener en cuenta dichos costos; que probablemente ampliaría la diferencia entre la situación sin proyecto y con proyecto, aumentando el ahorro generado y tornando mas rentable a menores volúmenes de tránsito las obras viales proyectadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Rivera, G. Botasso, M. Villanueva, L. Brizuela, “Valoración de la seguridad vial mediante micro-simulación con y sin proyecto de la intersección de la R.N. N° 35 y Acceso a Castex”, Memoria de Transferencia Tecnológica a Delegación La Pampa de la DNV, 2009.
- [2] Universidad Tecnológica Nacional, “Evaluación Económica: Pavimentación de la Av. de Circunvalación de la cuenca del Riacho Formosa entre Av. E. L. Maradona y Av. González Lelong – Puente sobre Riacho Formosa”, Junio 2009.
- [3] Dirección Nacional de Vialidad, “Costo de Operación de Vehículos”, Junio de 2009.
- [4] J. Rivera, G. Das Neves, M. Villanueva, R. Rolón Fariña, “Análisis por microsimulación de las mini-rotondas urbanas” Revista Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, México (ISSN 1665-529X), Vol. 12, N° 3, pag. 33-41. Septiembre-Diciembre de 2008.
- [5] J. Rivera, M. Villanueva, R. Rolón Fariña, “Análisis de la semaforización fija sin restricciones de movimientos”, Memorias del Congreso Internacional 9º Provia, Puerto Varas, Chile, 3 al 7 de Noviembre de 2008.
- [6] LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la UTN-FRLP, “Diseño de Soluciones Viales Rurales y Urbanas. Empleo de Micro-Simulación” (ISBN 978-950-42-0086-4), Agosto 2007.