



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBJETO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>11</b>
3.1	GENERAL .....	11
3.2	RECOPILACIÓN DE DATOS .....	11
3.2.1	<i>Geometría .....</i>	<i>11</i>
3.2.2	<i>Parámetros de los elementos de la red .....</i>	<i>14</i>
3.2.3	<i>Demanda.....</i>	<i>15</i>
3.2.3.1	General .....	15
3.2.3.2	Vehículos particulares .....	15
3.2.3.3	Transporte Público- Buses.....	16
3.2.3.4	Generadores de demanda.....	17
3.2.4	<i>Semaforización .....</i>	<i>19</i>
3.2.5	<i>Condiciones complementarias.....</i>	<i>19</i>
3.2.5.1	General .....	19
3.2.5.2	Tiempos de viaje .....	20
3.2.6	<i>Flujo de saturación.....</i>	<i>20</i>
3.2.7	<i>Formación de colas y retardo en intersecciones .....</i>	<i>20</i>
3.3	MODELOS DE DISTRIBUCIÓN. PROCESOS ODME .....	22
3.3.1	General.....	22
3.3.2	<i>Aplicación ODME- Distribución de viajes.....</i>	<i>22</i>
3.4	MODELO MICROSCÓPICO DE SIMULACIÓN .....	26
3.4.1	General.....	26
3.4.2	<i>Modelo microscópico de la Situación Actual .....</i>	<i>26</i>
3.4.3	<i>Construcción del modelo .....</i>	<i>29</i>
3.4.3.1	Geometría.....	29
3.4.3.2	Categorización de las rutas.....	30
3.4.3.3	Semaforización.....	31
3.4.3.4	Transporte Público .....	31
3.4.3.5	Demanda.....	33
3.4.3.6	Perfil de demanda.....	33
3.4.4	<i>Calibración del modelo .....</i>	<i>34</i>
3.4.4.1	General .....	34
3.4.4.2	Calibración de la Capacidad .....	35
3.4.4.3	Calibración en la distribución de flujos .....	35
3.4.4.3.1	Criterios de aceptación.....	35
3.4.4.3.2	Ajuste en los valores de links.....	39
3.4.4.3.3	Ajuste en el método de asignación .....	39
3.4.4.4	Tiempos de viaje .....	40
3.4.4.5	Formación de cola .....	41
<b>4</b>	<b>PARÁMETROS FUNCIONALES DE LA LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>43</b>
4.1	GENERALIDADES .....	43
4.2	SELECCIÓN DE INDICADORES DE EFICIENCIA .....	44



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



4.2.1	<i>Cantidad de Vehículos – Medición Instantánea (Current All NV)</i> .....	44
4.2.2	<i>Cantidad de Vehículos – Medición Acumulada (Total All NV)</i> .....	46
4.2.3	<i>Velocidad media (Current All Mean Speed)</i> .....	49
4.2.4	<i>Cantidad de kilómetros vehículo recorridos (VKT)</i> .....	50
4.2.5	<i>Cantidad de horas vehículo insumidas (VHT)</i> .....	53
<b>5</b>	<b>PROYECTO</b> .....	<b>55</b>
5.1	GENERALIDADES .....	55
5.2	GEOMETRÍA Y FUNCIONALIDAD DEL ESCENARIO CON PROYECTO .....	57
5.2.1	<i>Geometría</i> .....	57
5.2.2	<i>Funcionalidad</i> .....	62
5.2.2.1	Lincoln y San José .....	64
5.2.2.2	<b>Lincoln</b> y Valle de Anahuac , Lincoln y Matías Ramos .....	67
5.2.2.3	Lincoln y Rangel Frías .....	67
5.2.2.4	Lincoln y Valle de los Pinos, Lincoln y Moises Saenz .....	68
5.2.2.5	Lincoln y Nueva Escocia .....	68
5.2.2.6	Lincoln y Nueva Inglaterra, Lincoln y Nueva Orleans .....	69
5.2.2.7	Lincoln y Parque Poniente .....	69
5.2.2.8	Lincoln y Madero, Lincoln y Ciudad de Limón, Lincoln y Jardín del Parque Burgos .....	70
5.2.2.9	Lincoln y Gonzalitos .....	70
5.2.2.10	Lincoln y Reynosa .....	71
5.2.2.11	Lincoln y San Fernando .....	71
5.2.2.12	Camargo – Laredo .....	72
5.2.2.13	Lincoln y Rodrigo Gómez .....	72
5.2.2.14	Ruiz Cortines y Alfonso Reyes .....	74
5.2.2.15	Ruiz Cortines Simón Bolívar .....	76
5.2.2.16	Ruiz Cortines y Rio Frio, Ruiz Cortines y Jordán, Ruiz Cortines y celulosa .....	77
5.2.2.17	Ruiz Cortines 18 de Marzo- Mora -Edison .....	77
5.2.2.18	Ruiz Cortines, Tramo Edison Bernardo Reyes .....	79
5.2.2.19	Ruiz Cortines y Villagrán, Ruiz Cortines y Amado Nervo .....	80
<b>6</b>	<b>PARÁMETROS FUNCIONALES DEL PROYECTO</b> .....	<b>83</b>
6.1	PROPUESTA INICIAL .....	83
6.1.1	<i>General</i> .....	83
6.1.2	<i>Cantidad de vehículos, medición instantánea (Current All NV)</i> .....	83
6.1.3	<i>Cantidad de vehículos, medición acumulada (Total All NV)</i> .....	84
6.1.4	<i>Velocidad media (Current All Mean Speed)</i> .....	85
6.1.5	<i>Detección de situaciones de conflicto</i> .....	86
6.1.6	<i>Consideraciones complementarias</i> .....	89
6.2	PROPUESTA DEFINITIVA .....	92
6.2.1	<i>General</i> .....	92
6.2.2	<i>Cantidad de Vehículos – Medición Instantánea (Current All NV)</i> .....	92
6.2.3	<i>Cantidad de Vehículos – Medición Acumulada (Total All NV)</i> .....	94
6.2.4	<i>Velocidad media (Current All Mean Speed)</i> .....	96
6.2.5	<i>Cantidad de kilómetros vehículo recorridos (VKT)</i> .....	99
6.2.6	<i>Cantidad de horas vehículo insumidas (VHT)</i> .....	101
6.2.7	<i>Otros parámetros comparativos</i> .....	103
6.2.7.1	General .....	103
6.2.7.2	Formación de cola .....	104
6.2.7.3	Densidades de Tránsito .....	106



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



---

6.2.7.4	Distribución de velocidades.....	108
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>110</b>

---



---

## **Introducción**

Actualmente, las grandes ciudades se caracterizan por la aglomeración de habitantes que residen en el lugar, en edificaciones del tipo colectivas y en altura, que se dedican principalmente al desarrollo de actividades del tipo terciarias (administración pública, servicios financieros, comercios, etc) y en segundo lugar del tipo secundarias (fábricas, industrias).

Estas personas se trasladan diariamente a través de distancias con diferentes magnitudes (de acuerdo a la geografía y extensión de la ciudad) desde su lugar de residencia hasta el lugar donde desarrollan su actividad productiva o trabajo. Este primer motivo de desplazamiento de las personas generó la creación de sistemas de transporte masivo que brindara posibilidades similares de traslado a todos los habitantes de una ciudad.

Las actividades se diversifican y multiplican en función directa a la complejidad y el desarrollo alcanzado por la ciudad, generando otros motivos para el traslado o viaje, como ser educación, esparcimiento, entre otras, imponiendo que los medios de transporte se adecue a una exigencia cada vez mayor dentro de un espacio físico constante.

El alto nivel de motorización de las urbes genera que sus redes viales se encuentren altamente congestionadas por lo que el transporte privado resulta ineficiente y costoso.

*El desafío de las ciudades actuales es incorporar nuevos medios de transporte masivo dentro de configuraciones urbanas con mínimas posibilidades de cambios.*

Los sistemas de Buses de Tránsito Rápido o BRT (Bus Rapid Transit) son una respuesta al transporte, con alta capacidad y bajos costos de implementación y mantenimiento, que permiten lograr altos niveles de eficiencia en viajes urbanos dentro de redes viales con situaciones de congestión instaladas.

La interacción de los distintos elementos de los sistemas BRT ha demostrado que atrae la elección de los pasajeros e incrementa en forma significativa la cantidad de pasajeros de los corredores en los que se implementa. Este es considerado uno de los mayores logros de la inversión en estos sistemas, y la capacidad de atraer pasajeros reafirma el





---

atractivo de este sistema de transporte y le confiere grandes beneficios a la región donde se inserta, incluyendo la reducción en la congestión del tránsito, las mejoras en la movilidad urbana y la reducción en la emisión de poluentes

Las exigencias de la Ciudad de Monterrey se encuadran en esta problemática. Sus corredores viales disponen de una configuración con espacios adecuados para la implementación de estos sistemas considerando los requerimientos de los elementos que lo componen.

Una breve enumeración de algunos sistemas exitosos y sus componentes implementados en el mundo se incluye a manera descriptiva.

La configuración final adoptada para el sistema a implementar en el corredor Ruiz Cortines se incluye en la documentación relativa al proyecto.

#### •ESTACIONES

Las estaciones son los lugares establecidos dentro del sistema para el ascenso y el descenso de pasajeros, con arquitectura característica que permiten al usuario / pasajero identificar los puntos de ingreso al sistema.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Estación BRT Curitiba – Brasil** **Station MAX BRT Las Vegas – USA**



**MetroBus – México DF**

**•BUSES**

Los buses se mueven dentro de los corredores del sistema, transportando a las personas entre estaciones. Las características de estos vehículos varían en su capacidad y acondicionamientos de acuerdo al diseño general del sistema.



**Buses articulados de alta capacidad con piso elevado. MetroBus – México DF**



**Las Vegas MAX BRT. State of Nevada – USA**

**•CORREDORES DEL SISTEMA O RUTAS DE CIRCULACIÓN**

Los buses del sistema circulan por carriles exclusivos, confinados o calzadas exclusivas dentro de la red vial de la ciudad.



Carril exclusivo confinado. Mobilien BRT. Paris – Francia

#### •SISTEMA DE COBRO DE PASAJES

El sistema de cobro en general se implementa antes del ascenso al bus, al ingreso a la Estación. Cada estación se equipa con cajeros de cobros, del tipo automático o manual, y en una segunda instancia se verifica el pago del mismo mediante medios mecánicos (molinetes u otros).

#### •SISTEMAS ITS

Los sistemas ITS (Intelligent Transportation System) incluyen elementos y tecnologías que permiten incrementar la seguridad y optimizar el funcionamiento del transporte terrestre en general. Entre los elementos factibles de implementar podemos mencionar la tecnología de transit signal priority, los paneles para Información al usuario en tiempo real (en buses y en estaciones), sistemas de pago electrónico, sistemas de control visual en estaciones y buses, etc.

La eficiencia de estos sistemas está dada en función de la evaluación de variables inherentes al transporte de las personas, que permitan establecer una relación de costo – beneficio para el pasajero y la comunidad en general y en particular respecto de otros sistemas de transporte urbano guiado (trenes, subterráneos, monorrieles, trenes livianos, etc.).





---

## **Objeto del estudio**

El estudio posee como Objetivo General analizar las condiciones funcionales de un sistema BRT de transporte masivo a desarrollarse en el eje de las Avenidas Lincoln y Ruiz Cortines, en la Ciudad de Monterrey.

Asimismo, el análisis puede desagregarse en objetivos concurrentes, que permiten la consideración de la totalidad de los componentes del sistema:

- Análisis de la Situación Actual: Cuantificación de los parámetros funcionales actuales, obtención de la Línea de Base.
- Inclusión del proyecto en la red vial y urbana: análisis cualitativo y cuantitativo de sus impactos. Evaluación del efecto sobre la operación de vehículos de transporte público y vehículos particulares.
- Análisis de las eventuales situaciones conflictivas que se presenten y propuesta de mejoras.

Los fenómenos asociados al tránsito urbano, donde el componente de congestión se encuentra presente en numerosos puntos, impone la necesidad de utilizar las herramientas más avanzadas de análisis, en donde puedan incorporarse la totalidad de los componentes con incidencia en el desarrollo del tránsito y en las cuales se considere las características estocásticas de la demanda.

Considerando esto, se propone la utilización de un sistema microscópico de simulación de tránsito que permita el análisis de demanda en las primeras etapas del estudio, como se explicará en los puntos siguientes. Este esquema de trabajo permite considerar con precisión y exactitud la totalidad de las variables que participan en la definición de las condiciones del tránsito, obteniéndose resultados con alto grado de confiabilidad que permiten predecir el efecto de las modificaciones de demanda e infraestructura a analizar.

Con el propósito de obtener resultados consistentes con las necesidades del análisis, es necesario incorporar procesos de asignación de tránsito que permiten interpretar el comportamiento que los conductores al encontrar en la oferta de infraestructura vial las nuevas condiciones propuestas.



Es por ello que debe trabajarse con demandas definidas a través de matrices origen destino, que brinden al modelo la capacidad de redistribuir el tránsito en las distintas rutas disponibles mediante la utilización de algoritmos adecuados a este fin. La obtención de estas matrices se realizará mediante el procesamiento de los datos disponibles y su procesamiento en software con disponibilidad de procesos ODME (Origin Destination Matrix Estimation). Nuestra propuesta incluye a este fin la utilización del modulo ODME de Paramics (Estimator), en su modulo de distribución, asignación y determinación de matrices OD.

## **Análisis de la Situación Actual**

### **General**

El desarrollo del escenario descriptivo de la situación actual cumple dentro del estudio con los siguientes objetivos:

- a)recopilar y relevar la información necesaria que permita componer las condiciones de infraestructura y demanda en área de análisis
- b)Establecer los parámetros funcionales en forma cuantitativa que conformen la Línea de Base del análisis, contra los cuales se compararan los resultados obtenidos en la incorporación del proyecto

### **Recopilación de datos**

#### **Geometría**

Si bien el desarrollo propuesto para el BRT es de una longitud mayor, el análisis se desarrollará sobre el tramo más comprometido del mismo, que en forma general puede describirse como sigue:

- Abraham Lincoln entre calle Juan José Hinojosa y Rodrigo Gómez (2.7 km)
- Rodrigo Gómez entre Abraham Lincoln y Ruiz Cortines (0.6 km)
- Ruiz Cortines entre Rodrigo Gómez (Simón Bolívar) y Amado Nervo (2.4 km)



Asimismo, para una correcta interpretación del funcionamiento del tránsito, se incorporó en el modelo realizado los sectores de la red urbana sobre los cuales puedan derivarse vehículos componentes del tránsito en las distintas etapas del proyecto, al limitarse la movilidad sobre el corredor principal.



Desarrollo del corredor – BRT Ruiz Cortines

Tres fueron las fuentes principales de información respecto de la geometría de la infraestructura vial del área. El resumen de la documentación recopilada se incluye en Anexo.

La primera se basa en los planos en formato CAD disponibles de estudios anteriores y de relevamientos realizados específicamente para este proyecto.

Se incluyen en el plano **Área de Estudio**, que describe las condiciones del relevamiento realizado y tomado en consideración para esta etapa del proyecto.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



---

La segunda de las fuentes consiste en la información dada por las imágenes satelitales disponibles en la web de uso público, y que permiten obtener algunos datos complementarios que, a manera de ajuste, se agregan a la documentación citada anteriormente. La definición de las imágenes disponibles es detallada, por lo que la factibilidad de obtener información de las mismas es alta.

El tercer elemento que completa la información es la definición del proyecto, expresada en el plano ***Descripción del Proyecto*** incluido en el Anexo, y que define tanto la geometría propuesta como la funcionalidad definida para cada tramo del corredor.





---

## **Parámetros de los elementos de la red**

La geometría de la red debe ser complementada con datos funcionales que identifiquen la forma en que la red permite a sus usuarios, ya sean vehículos o peatones, a realizar sus movimientos y traslados.

Esas características fueron establecidas para alimentar a los modelos de simulación, según el siguiente listado:

- Jerarquización de las vías de circulación
  - Avenidas principales
  - Avenidas Secundarias
  - Calles principales
  - Calles secundarias
  - Autovías
  - Corredores peatonales
  - Áreas de circulación peatonal libre
- Sentidos de circulación
- Restricciones en la circulación
  - Carriles exclusivos
  - Giros prohibidos
  - Áreas de estacionamiento
  - Áreas de prioridad peatonal
  - Corredores de tránsito pesado
  - Restricciones al tránsito pesado
- Operación del Transporte Público
  - Zonas de ascenso y descenso de pasajeros
  - Corredores exclusivos
- Capacidad expeditiva de las vías de circulación (para procesos de asignación primaria)
  - Capacidad en función de la cantidad de carriles y velocidad

Todos estos elementos se incluyeron en el modelo de simulación, según los requerimientos del mismo.



---

## Demanda

### *General*

Uno de los componentes más significativos del estudio es la descripción de la demanda.

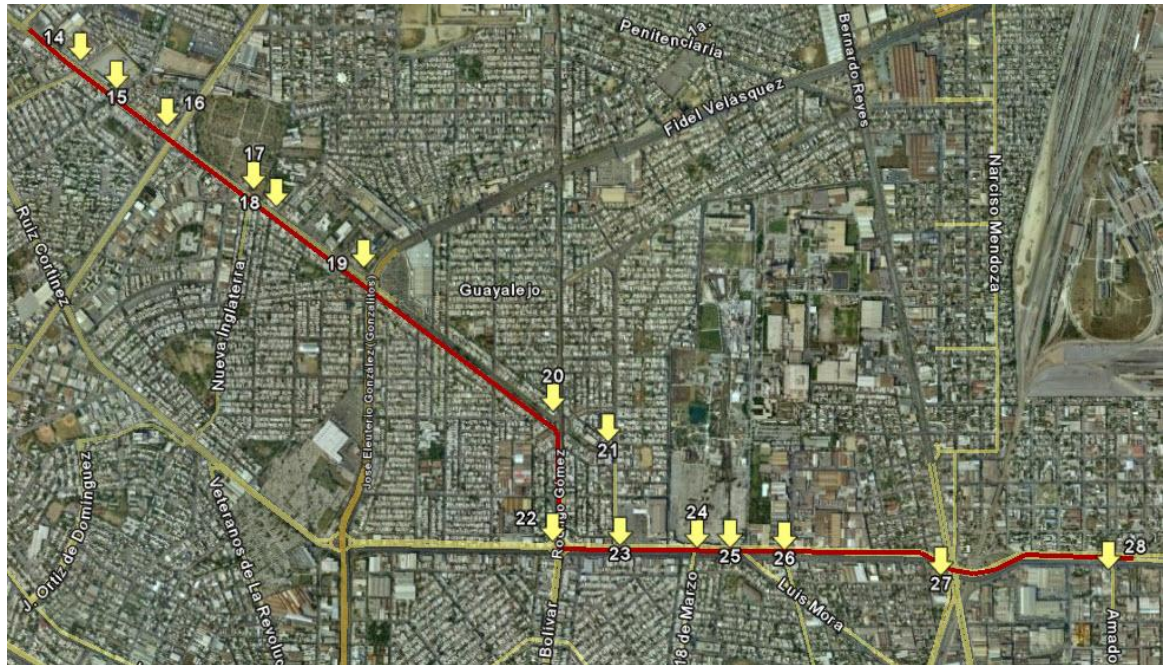
Los datos relativos a esta descripción han sido desagregados en:

- Vehículos Particulares
  - Livianos
  - Pesados
- Transporte Público
  - Buses
  - Taxis

Las características físicas de los vehículos que componen el parque automotor de la ciudad (alto, ancho, largo, peso, velocidad máxima, perfil de aceleración, otros), ha sido adoptado en concordancia con la definición utilizada en estudios similares.

### *Vehículos particulares*

La descripción de la demanda asociada a los vehículos particulares ha sido obtenida de los conteos que fueron realizados en forma específica para este estudio y que se incorporan en el Anexo ***“Demanda”***, en el apartado ***“Conteos en Calles y Avenidas, picos Am y Pm de demandas”*** con la información de las intersecciones en donde se disponen los conteos.



Ubicación de los conteos

La información se corresponde con distintos conteos realizados en días de semana, durante los picos matutinos y vespertinos de demanda, desagregados por tipo de vehículo, y la ubicación de los mismos se refiere en el gráfico anterior.

AL no existir información previa respecto a origen y destino de los viajes, se estableció una matriz semilla ("seed matrix"), desarrollada como consecuencia de los conteos disponibles y del conocimiento previo de los movimientos en el sector. En procesos de análisis funcional con reasignaciones locales (no regionales) esta definición es suficiente como para alimentar los procesos realizados de estimación de Matrices OD (ODME).

### ***Transporte Público- Buses***

Los vehículos de transporte público son incluidos como factor de demanda con tratamiento diferenciado del transporte privado.



Los buses de media y larga distancia, son incorporados al análisis, y por lo tanto al modelo de simulación, como vehículos de ruta fija, en donde sus recorridos, frecuencias, áreas de detención y tiempos de detención, definen las características en la circulación de los mismos.

La información relativa a este tipo de vehículos, fue obtenida de la completa descripción de los servicios disponible en el sitio web del *Consejo Estatal de Transporte y Vialidad (CET y V)*.

Por otro lado, los taxis son incorporados como vehículos de recorrido libre, por lo que en términos de la simulación realizada, no difiere mayormente de la operación de vehículos. Sólo se agrega un porcentaje de vehículos representativo de los taxis vacíos en busca de pasajeros, los que operan a velocidades menores de las promedio. Los mismos fueron definidos con velocidad limitada a 30 km/h.

### ***Generadores de demanda***

La demanda establecida en las condiciones anteriores debe complementarse con la información relativa a los sectores atractores y generadores de demanda de incidencia en el área.

El área de estudio queda definida por un cordón exterior (boundary) que intersecta a la red vial en diferentes calles y avenidas. Los flujos en la intersección del cordón exterior y las calles y avenidas de la red se corresponden con la denominada demanda externa, que puede imaginarse generada (o atraída) en las zonas que en esos puntos han sido ubicadas. Parte de esos flujos atraviesan la red, correspondiéndose con la demanda Externa-Externa.

Asimismo, existen zonas internas al área de estudio que se corresponden con atractores o generadores (específicamente estacionamientos en centros comerciales y edificios de oficinas, etc.) que determinan la existencia de viajes con origen o fin en el interior del área estudiada. Estos puntos determinan los viajes Externos Internos, Internos Externos e Internos-Internos según corresponda la definición de origen o destino del viaje. En resumen:



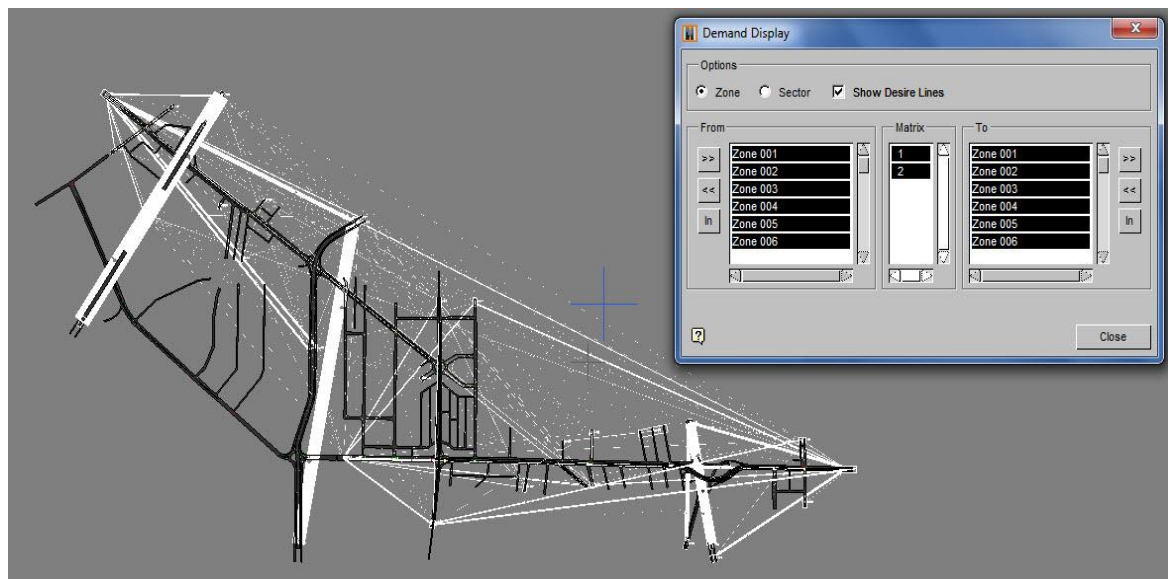
E-E: viajes externos – externos, serán aquellos que tienen origen y destino final fuera de la zona de estudio, aunque estos viajes inciden directamente sobre la misma. Incluye la totalidad de los vehículos pasantes por el área considerada.

E-I: viajes externos – internos, originarios fuera de la zona de estudios pero con destino dentro.

I-E: viajes internos – externos, originados dentro de la zona y con destino fuera.

I-I: con origen y destino dentro. Viaje corto.

En la siguiente imagen, a modo descriptivo, se incluyen las zonas tanto externas como las internas, que definen la distribución de viajes adoptada, y las “líneas de deseo” que muestran desde donde y hacia donde se desarrollan los viajes considerados, mediante bandas con ancho proporcional a la cantidad de viajes.



**Matriz OD- Líneas de deseo**

Fueron definidas 27 zonas de Origen y Destino de los 26000 viajes considerados para los periodos de pico AM y PM.



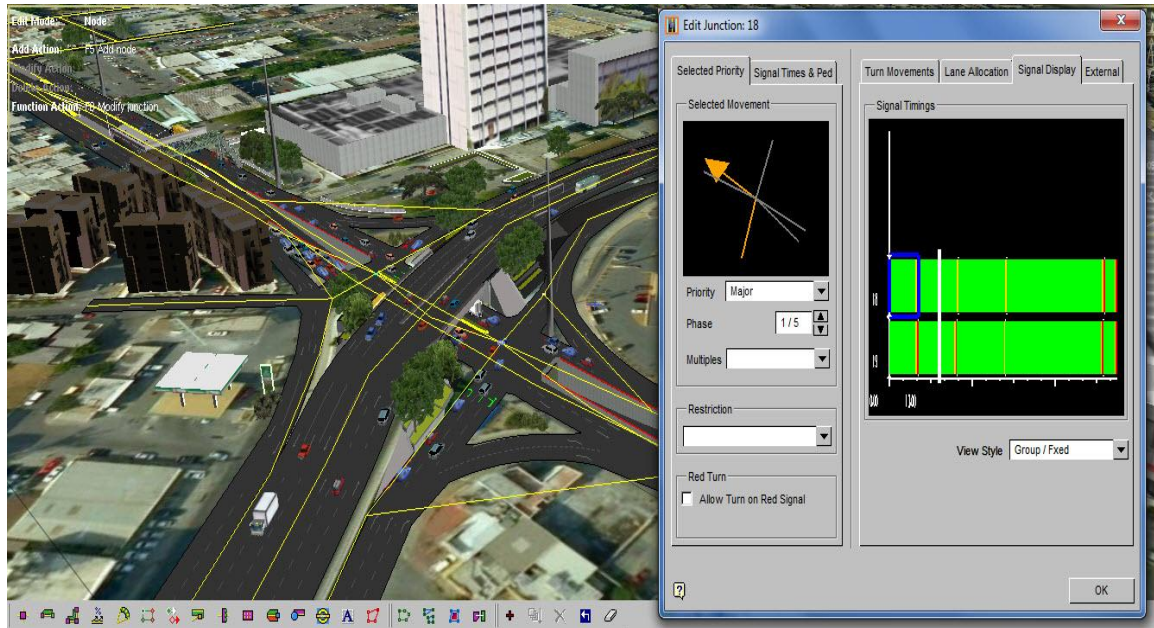


## Semaforización

Las condiciones relativas a la existencia de semáforos en el corredor son de importancia definitiva en la circulación general.

Se dispone de la ubicación y distribución de los semáforos en las principales intersecciones y de los ciclos y fases con los que operan en la actualidad, mientras que se adaptaron esas condiciones a las que el proyecto exige.

En particular, la necesidad de priorizar la circulación del BRT y la disponibilidad de menos intersecciones donde se pueden realizar los movimientos de giro, imponen las condiciones que establecen la operación de los semáforos en el proyecto.



**Semaforización**

## Condiciones complementarias

### *General*

Existen datos complementarios que resultan necesarios para satisfacer distintas capacidades del modelo de simulación, en función de obtener una mejor calibración,



disponer de mejor capacidad de análisis, y facilitar interpretación de los resultados y la comunicación del proyecto.

Dichos relevamientos se describen a continuación.

### ***Tiempos de viaje***

Como se describirá más adelante, la calibración del modelo incluye establecer la coincidencia entre parámetros medidos y parámetros obtenidos del modelo.

Es por ello que se han determinado a partir del modelo de simulación, los tiempos de viaje para los distintos pares origen destino que conforman las rutas principales.

Estos valores serán analizados comparativamente mediante la observación con los recorridos reales, analizando el rango en los que se incluyen y estableciendo su correlación con los valores estimados para los tiempos de viaje reales.

### **Flujo de saturación**

Los parámetros operacionales, como separación entre vehículos “headway factor” o tiempo de reacción “reaction time”, fundamentales en el proceso de calibración del modelo, están relacionados con las condiciones locales de circulación y el hábito de los conductores.

La obtención de estos valores puede hacerse considerando aquellos puntos donde la capacidad del elemento de la red considerado fue alcanzada. Es por ello que resulta de mucho valor la detección donde se dan estas condiciones en la red, para de ese modo proceder a ajustar los valores citados hasta obtener la concordancia entre los valores de capacidad del modelo y los medidos en la realidad.

### **Formación de colas y retardo en intersecciones**

Durante el desarrollo de las observaciones en el sector, se detectaron aquellos sectores donde se encuentra congestión recurrente, manifestada a través de formaciones de cola.

La valoración de los puntos de congestión y formación de colas reales con respecto a los obtenidos en el modelo se realiza fundamentalmente de manera cualitativa mediante la utilización de la interfaz gráfica que el propio modelo dispone.



Formación de colas





---

## ***Modelos de distribución. Procesos ODME***

### **General**

Como se indicó anteriormente, la complejidad del tránsito en el área de estudio genera la necesidad de realizar el análisis correspondiente mediante la aplicación de modelos de simulación.

La gran cantidad de variables que inciden en el estudio, las condiciones de congestión instalada en las horas pico de demanda, la operación de transporte público en un importante número, la incidencia de los corredores peatonales existentes y que el propio proyecto implica, y otros, son algunos de los factores concurrentes que deben ser considerados en el análisis en forma simultánea.

Como metodología de trabajo se ha decidido la aplicación conjunta de modelos de distribución de tránsito con los modelos microscópicos para análisis operacional, que permitan cubrir las exigencias de cada etapa del trabajo. Estas instancias se describen a continuación.

### **Aplicación ODME- Distribución de viajes**

Con el propósito de obtener una matriz origen destino que se correlacione con los viajes reales entra las zonas definidas en el área en estudio, se aplicó un modelo de distribución que permite obtener una matriz OD consolidada.

La aplicación de este modelo permite cubrir, en forma consistente con la precisión buscada en esta etapa del estudio, la etapas de distribución de viajes y asignación de rutas.

Para obtener las matrices origen destino que representen en forma realista la distribución de demanda en el área considerada se han utilizado procesos del tipo ODME (Origin Destination Matrix Estimation) incluidos en el modelo (Paramics Estimator), que permiten obtener una matriz Origen Destino en función de los conteos de tránsito correspondientes a la situación actual en las intersecciones características.

La disponibilidad de flujos vehiculares y movimientos en intersecciones no resuelve por si mismo el problema e impone la necesidad de determinar las matrices origen



---

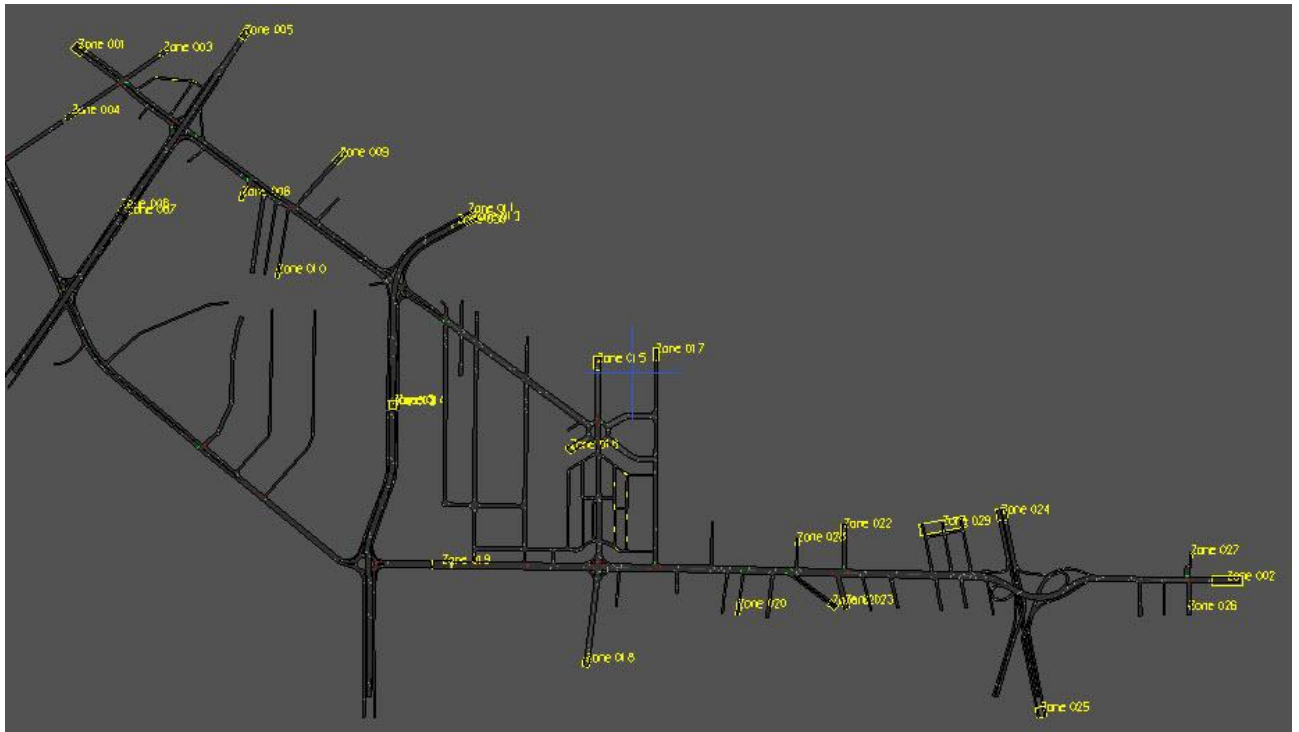
destino correspondientes a cada pico de demanda mediante la aplicación de procedimientos basados de los datos disponibles.

Para la aplicación de los procesos ODME aplicados, es necesario iniciar el proceso, además de los conteos disponibles, de una matriz origen destino “semilla” (seed).

El proceso de obtención de la matriz “semilla” considera a los flujos en sentido entrante o saliente de las zonas sobre el cordón externo del modelo como producciones y atracciones de las zonas externas. A partir de allí y de acuerdo al conocimiento de los movimientos locales en la red, puede obtenerse una matriz semilla adecuada.

Es importante destacar que la matriz origen destino “semilla” podría tratarse de una matriz unitaria, y el proceso puede iniciarse a partir de ella. Sin embargo iniciar el proceso con una matriz lo más cercana posible a la definitiva, acelera en forma importante la convergencia a la obtención de resultados confiables.

Para la conformación de la matriz fue necesario establecer las zonas de origen y destino de los viajes correspondientes, las que se describen en el gráfico incluido a continuación.



**Matriz OD- Zoneado**

La aplicación de este procedimiento permitió la obtención de la matriz definitiva, de la cual se incluye la correspondiente al pico de demanda AM a continuación.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



MATRIZ DE DEMANDA ORIGEN Y DESTINO - PICO AM DE DEMANDA

to	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
from 1	0	77	0	0	258	309	0	26	0	0	0	593	1031	0	0	0	26	0	0	0	258	0	0	0	0	0	0
from 2	419	0	0	0	0	209	0	0	0	0	0	0	314	0	0	0	0	209	0	0	105	0	0	419	419	0	0
from 3	20	0	0	59	2	4	0	2	4	4	0	4	12	0	4	2	16	4	37	4	4	4	4	0	0	0	4
from 4	34	0	34	0	3	7	0	3	17	17	0	17	17	0	17	0	34	17	60	17	10	10	10	0	0	0	3
from 5	127	0	5	0	0	47	0	5	19	19	0	19	24	0	19	0	19	19	61	19	19	9	19	0	0	0	5
from 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 7	123	8	8	8	25	16	0	4	16	16	0	16	16	0	16	4	25	16	41	8	8	8	8	0	0	0	8
from 8	38	11	6	4	2	9	0	0	9	9	0	9	11	0	4	2	4	11	23	8	6	6	6	0	0	0	6
from 9	76	8	8	8	4	8	0	4	0	114	0	11	11	0	11	0	11	11	34	11	11	11	11	0	0	0	8
from 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 11	297	20	20	20	10	50	0	10	59	50	0	119	50	0	30	0	30	30	99	20	20	20	20	0	0	0	10
from 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 14	481	15	0	0	8	15	0	15	15	15	0	23	23	0	0	8	61	15	23	8	8	8	8	0	0	0	8
from 15	39	39	0	0	8	0	0	0	77	0	0	0	39	0	0	0	0	0	224	155	116	0	77	0	0	0	0
from 16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 17	7	470	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	235	0	0	0	0	0	0	0	0
from 18	0	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	246	0	0	0	156	0	0	0	0	0	0	0	8
from 19	0	603	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101	0	141	302	0	241	261	80	221	0	0	0	60
from 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 21	12	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 22	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	0	0	0	77	0	0	0	0
from 23	296	161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0
from 24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 26	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
from 27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	390	0	78	78	0	0	78	78	78	0
	1966	1931	79	98	318	674	0	69	217	244	0	811	1547	0	447	16	395	1070	993	568	903	237	461	497	497	137	132



---

## ***Modelo Microscópico de simulación***

### **General**

La aplicación del modelo de distribución permitió la obtención de una matriz OD confiable y robusta. Un modelo de estas características es suficiente en etapas de planificación y, sobre todo, en la obtención del esquema de distribución de viajes.

Una vez cubierta esta etapa, es la aplicación del modelo microscópico de simulación la metodología que permite encontrar las eventuales deficiencias que las alternativas de proyecto presentan, fundamentalmente debido a falta de capacidad en intersecciones y secciones específicas. Asimismo el modelo microscópico permitirá el análisis del funcionamiento operacional del corredor, facilitando la definición de componentes del tránsito como programas de semaforización, funcionamiento del transporte público, otros.

Como primer paso en la aplicación de este tipo de modelos, se debe realizar la minuciosa calibración del modelo microscópico de la situación actual. El objetivo es realizar un modelo donde las características y parámetros del tránsito medidas en el terreno se correlacionen con los que pueden obtenerse del modelo de una manera adecuada, de acuerdo a condiciones preestablecidas.

### **Modelo microscópico de la Situación Actual**

Con los datos de demanda e infraestructura se procedió a construir el modelo de la situación actual. Se realizó la distribución de zonas en forma coincidente con el modelo microscópico, de manera que pueda incluirse la matriz origen destino obtenida de esa fuente en forma directa, solo ajustando algunas consideraciones de formato.

Las siguientes imágenes son representativas del modelo logrado.





A las consideraciones de infraestructura y demanda citadas anteriormente, se agrega el componente de elementos tridimensionales representativos del entorno, con lo que puede identificarse claramente la ubicación de cada una de las imágenes visualizadas y por lo tanto se facilita el análisis y la comunicación del proyecto.



**Abraham Lincoln y Gonzalitos**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Abraham Lincoln y Rodrigo Gómez**





**Simón Bolívar y Ruiz Cortines**

## **Construcción del modelo**

### ***Geometría***

Las condiciones planialtimétricas de la red fueron codificadas en un todo de acuerdo a la documentación recopilada como se indicó en los primeros Capítulos de este Informe.

El modelo utilizado, basado en codificación de nodos-link, permitió asignarle a cada elemento de la red simulada las características asociadas a sus condiciones geométricas y funcionalidad. Los archivos componentes del modelo, denominados “nodes” y “links”, incluyen la totalidad de la información requerida para la construcción del modelo en total concordancia con la red.





Es importante que si bien cada intersección está representada por la unión de un número determinado de links a un nodo, son también los nodos los que se utilizan para definir otros puntos característicos de la red, como accesos a edificios, discontinuidades en la calzada –cambios en la geometría o en la funcionalidad-, puntos donde se solicitará colecciones de datos adicionales. Por lo tanto el número de nodos no es coincidente con el número de intersecciones en la red. Debe desatacarse que entre dos nodos se definen no menos de dos links: uno en cada dirección. El concepto de “kerbs” permite ajustar la posición del borde de calzada en cada caso, y el de “stoplines” define los movimientos de los vehículos para pasar de link a link, complementando la posibilidad de representar la red en forma exacta desde el punto de vista de su geometría y el efecto que la misma impone sobre los vehículos.

### ***Categorización de las rutas***

Los distintos tipos de rutas que conforman la red son caracterizados a partir de los parámetros incluidos en el archivo “categories”.

Allí cada tipo de vía es identificado por los siguientes parámetros

*categories 1 to 125* ← Codificación de la cantidad de categorías

*category 1 lanes 1 speed 40 kph width 3.5 m colour 0x0000ff00*

*type urban major*

*median width 0.0 m* ← Parámetros de la categoría definida

*headway factor 1.000 curve speed factor 0.0 toll 0.000 cost factor 1.000*

*signpost 250.0 m,1.0 m*

*category 2 lanes 2 speed 40 kph width 7.0 m colour 0x0000ff00*

*type urban major*

*median width 0.0 m*

*headway factor 1.000 curve speed factor 0.0 toll 0.000 cost factor 1.000*

*signpost 250.0 m,1.0 m*

*category 3 lanes 3 speed 40 kph width 10.5 m colour 0x0000ff00*

*type urban major*

*median width 0.0 m*

*headway factor 1.000 curve speed factor 0.0 toll 0.000 cost factor 1.000*

*signpost 250.0 m,1.0 m*



El archivo de categorías es genérico y puede usarse cualquiera sea la red a simular. Lo que resulta importante es la asignación de cada tipo de ruta a las secciones incluidas en la red simulada.

Se asignaron categorías al total de las calles y avenidas incluidas en el modelo, considerando básicamente la información recopilada, relevamientos en sitio y el conocimiento local de la red.

### ***Semaforización***

La información colectada relativa a la señalización luminosa se incorporó en el modelo mediante la interfaz gráfica disponible.

Los parámetros relevados fueron incluidos en el modelo de la situación actual a través de su GUI (Graphic User Interface), cuya imagen demostrativa se muestra a continuación.

### ***Transporte Público***

Se incluyeron en el modelo los datos relevados respecto de composición los volúmenes de transporte público detectados en las calles y avenidas en el área de estudio.

Para el escenario representativo de la situación actual se codificaron 44 líneas de transporte que circulan por el corredor o lo atraviesan, y que por lo tanto tienen incidencia en el desarrollo del tránsito.

La frecuencia del servicio fue obtenida de los cronogramas obtenidos de la información que brinda el Consejo Estatal de Transporte y Vialidad.

El formato de codificación típico para cada línea es el que sigue, donde puede la definición dl tipo de vehículo, la frecuencia y la ubicación de los paraderos.

*bus route count 44* ← Codificación de la cantidad de rutas

*number "46 "* ← Definición de la línea considerada

*service: "FUNDIDORA SN"* ← Denominación identificatoria

*max number: 10* ← Tamaño de la flota



*type 20* ← Definición del tipo de vehículo

*timetable 8*

*release time 00:00:15 starting occupancy 30*

*release time 00:12:00 starting occupancy 30*

*release time 00:24:00 starting occupancy 30*

*release time 00:36:00 starting occupancy 30*

*release time 00:48:00 starting occupancy 30* ← Cronograma (8 buses en el periodo con su frecuencia)

*release time 01:00:00 starting occupancy 30*

*release time 01:12:00 starting occupancy 30*

*release time 01:24:00 starting occupancy 30*

*node 525* ← Definición del recorrido por sucesión de nodos

*busstop 6* ← Definición de paraderos

*dwelt time mode 1*

*passenger frequency 30 per hour*

*alight 20 percent* ← Parámetros que definen el tiempo de detención en *pay time 10.0* cada paradero

*start*

*node 529*

*node 126*

*node 505*

*busstop 69*

*dwelt time mode 2*

*dwelt time 00:00:20*

*min stop time 00:00:00*

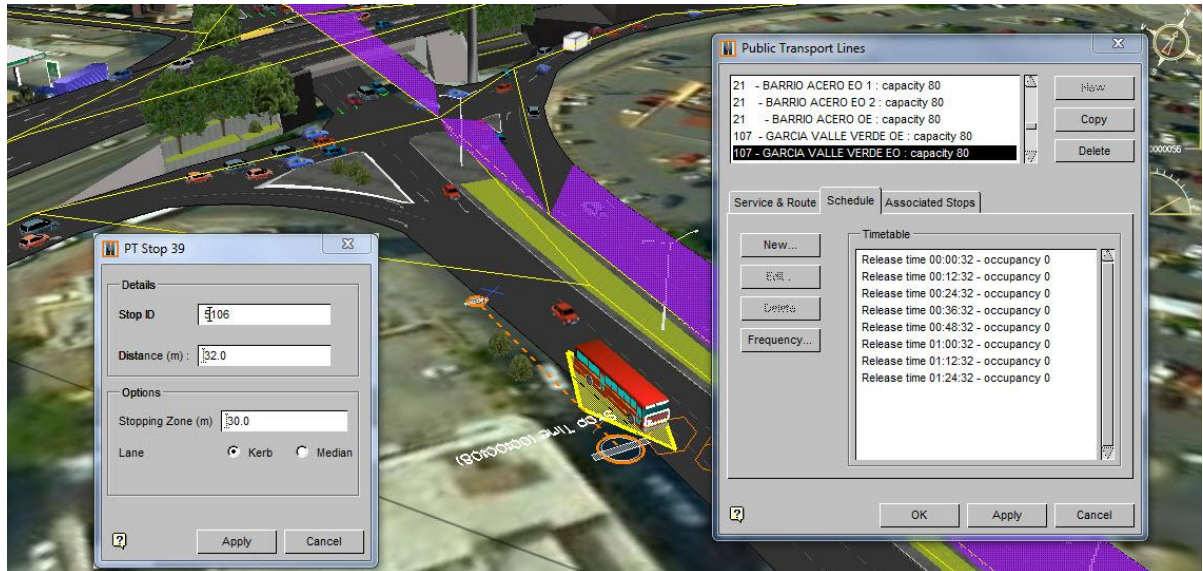
*node 235*

*node 498*

*node 9*

*node 5*

La información anterior puede codificarse en el modelo mediante el uso de la GUI (Graphic User Interface)



**Inclusión del transporte público**

## ***Demanda***

El proceso de obtención de las matrices OD definitivas para los distintos picos de demanda que fueron incluidas en el modelo microscópico de simulación ha sido desarrollado en puntos anteriores, por lo que no se volverá sobre el tema en este punto.

## ***Perfil de demanda***

Los conteos realizados en las diferentes calles y avenidas fueron adoptados como la fuente de información para la determinación del perfil base de demanda durante los periodos de pico.

El flujo total determinado para la hora pico de demanda será incorporado al modelo con una distribución porcentual en periodos de 15 minutos según el siguiente archivo "profile", que incluyen dos periodos de 15 minutos (shoulders), uno previo (precarga del modelo) y uno posterior (descarga del modelo).

*Demand Profile*  
*Profile Count 1*  
*Profile 1*



---

*Period Count 1*  
*Divisor 10*  
*Interval 15*  
*Period 1 start 08:30:00*  
*140 173 187 187 173 140*

Esto genera un periodo más agresivo en la demanda en la media hora central, manteniéndose el volumen horario total constante.

Asimismo, los volúmenes incluidos en la matriz OD (que representan volúmenes horarios) se transforman mediante un coeficiente global en el que se define la totalidad de la demanda del periodo de una hora y media definido.

## **Calibración del modelo**

### ***General***

La calibración del modelo de simulación es un proceso fundamental en el desarrollo de esta herramienta de análisis. Una calibración precisa le brinda al modelo la robustez y confiabilidad que se requiere para lograr resultados seguros.

La determinación de límites aceptables para considerar el modelo calibrado es uno de los puntos desarrollados a continuación, fundamentalmente en la distribución de flujos.

Se verificará la coincidencia de los siguientes parámetros

- Calibración de Capacidad
- Calibración de la distribución de flujos
- Calibración de tiempos de viaje
- Calibración de formación de colas

En general, se procede a la calibración de las dos primeras y la verificación de los dos últimos, ya que modificar los parámetros para cumplir con los dos últimos puntos significa alterar los resultados de los dos primeros, más sensibles a los cambios.

El objetivo de la calibración de capacidades es fijar los parámetros de comportamiento aplicados al modelo de manera que los resultados que se obtengan del mismo se



correspondan con el real funcionamiento de la red dentro de los rangos de aceptación prefijados.

### ***Calibración de la Capacidad***

Dos fueron las metodologías utilizadas con este fin.

La primera consiste en identificar una serie de intersecciones semaforizadas que funcionen con una demanda mayor a su capacidad. El volumen que logra atravesar la intersección en sus distintos movimientos puede ser considerado como una medida de la capacidad de la misma, y los flujos obtenidos describen los flujos de saturación.

La segunda es localizar en aquellas secciones donde los flujos medidos, debido a las condiciones de demanda, son asimilables a la capacidad del tramo. Esto se da generalmente en secciones en los momentos previos a instalarse la congestión, y pueden ser identificados mediante el perfil de demanda horario que puede ser trazado a partir de las mediciones realizadas. Las mediciones correspondientes con la sección corriente abajo de un punto posterior a la congestión son también descriptivas de la capacidad de esa vía, y fueron consideradas en este proceso. Se adoptó el tramo sobre Avda. Abraham Lincoln, corriente abajo de la intersección con Gonzalitos, teniendo en cuenta los volúmenes medidos por periodo asociado a cada ciclo del semáforo existente.

El proceso de comparación de volúmenes máximos detectados y circulantes por el modelo fue realizado en conjunto con la calibración de flujos que se describe más adelante.

Los parámetros obtenidos en este proceso, como se indicó anteriormente, fueron los correspondientes al “reaction time” y “headway factor”, a aplicar en forma general en el modelo.

### ***Calibración en la distribución de flujos***

Criterios de aceptación



La calibración fue realizada teniendo en cuenta la coincidencia entre los flujos estimados por el modelo y los flujos disponibles provenientes de los conteos en el terreno.

Dicho rango de admisibilidad esta definido a manera de lineamiento en el Traffic Analysis Toolbox Volume III, Guidelines for Applying Microsimulation Modeling Software, aplicable en varios estados de los Estados Unidos y aceptado en la aplicación de modelos (a excepción de la existencia de una norma local que la modifique), de la siguiente manera:

Criteria	Objetivo de Calibracion
<b>Flujos horarios, Modelados Versus Medidos</b>	
Individual link flows [veh/hour]	
Within 15%, for $700 < \text{Flow} < 2700$	➤ 85% of cases
Within 100, for flow $< 700$	➤ 85% of cases
Within 400, for flow $> 2700$	➤ 85% of cases
Sum of all link flows	Within 5% of sum of all link counts

El proceso consiste entonces en partir del modelo desarrollado con la calibración de capacidad incluida, con la matriz obtenida en el proceso ODME e ir comparando los valores de flujo obtenidos en el modelo con los que se dispone de las mediciones en el terreno realizadas hasta que se cumplan los rangos de coincidencia.

Se procede así a la realización de sucesivas corridas (“runs”) hasta alcanzar la coincidencia buscada.

A manera de ejemplo la planilla siguiente incluye la última de las 27 corridas realizadas para la calibración del pico AM de demanda:



INGENIERIA CSYA

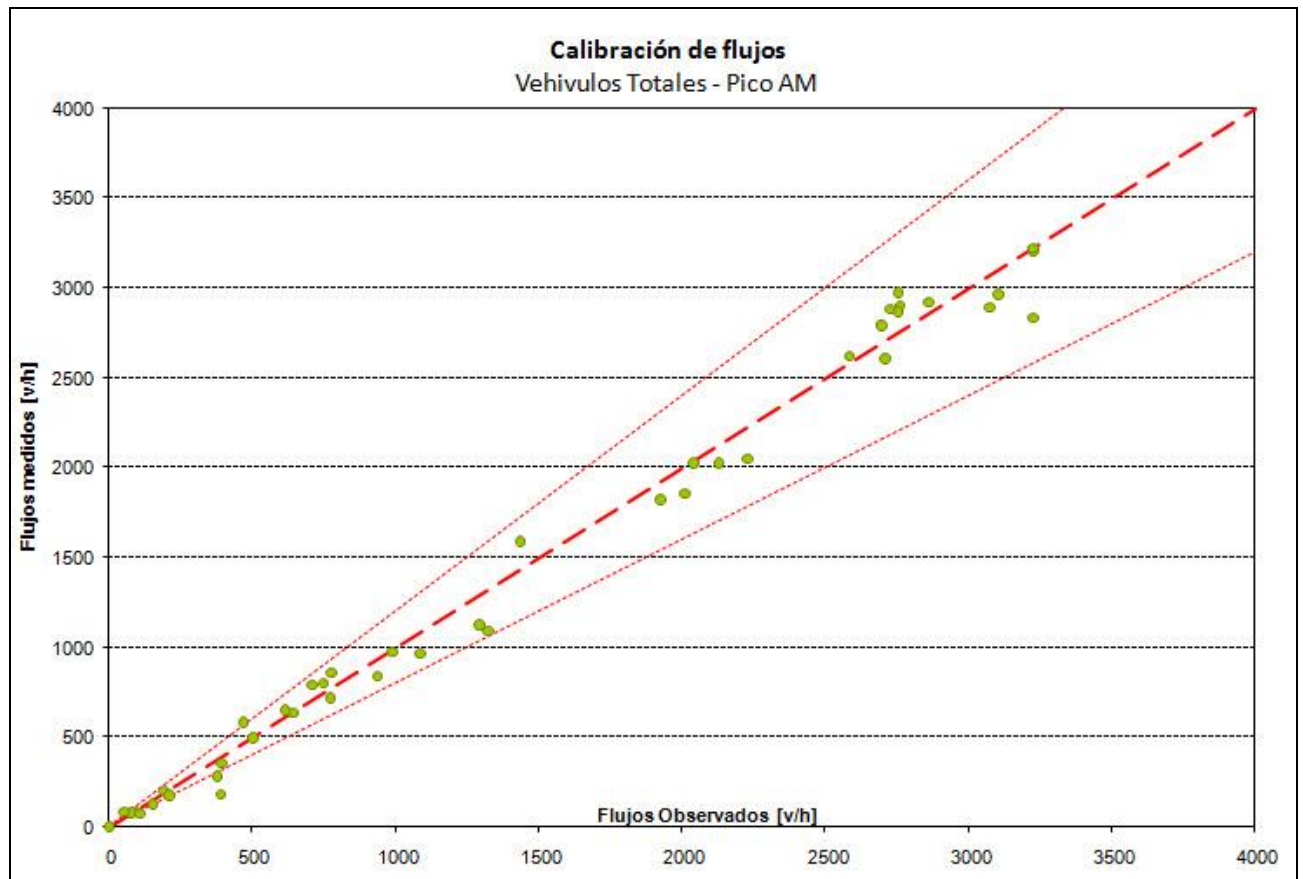




### Calibración de flujos

Es importante destacar que se actúa en esta etapa sobre la codificación de la red y en los parámetros de los algoritmos de asignación, modificando la demanda sólo en aquellos casos que se detecta un déficit que impide llegar a los valores detectados en los conteos de la intersección correspondiente.

Expresado en términos gráficos, la correlación entre valores medidos y calibrados se describe como sigue, pudiendo apreciarse la coincidencia:



Calibración de flujos . Correlación valores medidos/valores observados



---

### Ajuste en los valores de links

El ajuste específico de parámetros en links determinados debe ser usado en los casos que resulte necesario, los que en general no se presentan frecuentemente luego de haber realizado la calibración global.

Dicho ajuste, en especial el Headway factor y el Min Gap por link (no en forma global), fue realizado en algunos links donde se presentaron formaciones de cola y situaciones de congestión recurrente, donde el comportamiento de los conductores suele verse afectado por esta situación y el valor de los parámetros obtenidos suele disminuir.

### Ajuste en el método de asignación

Analizar el método de asignación de tránsito y los parámetros asociados al mismo es un proceso importante dentro de la calibración del modelo.

Las recomendaciones generales para iniciar este proceso establecen a manera de guideline cual de los métodos de asignación es el recomendado para cada caso teniendo en cuenta las características de la red, definidas en términos de alternativas de rutas y grado de congestión.

Una red con pocas alternativas de rutas y baja congestión sugiere el uso del método AON de asignación, mientras a medida que crece el grado de congestión los métodos de asignación dinámica se presentan como los más convenientes.

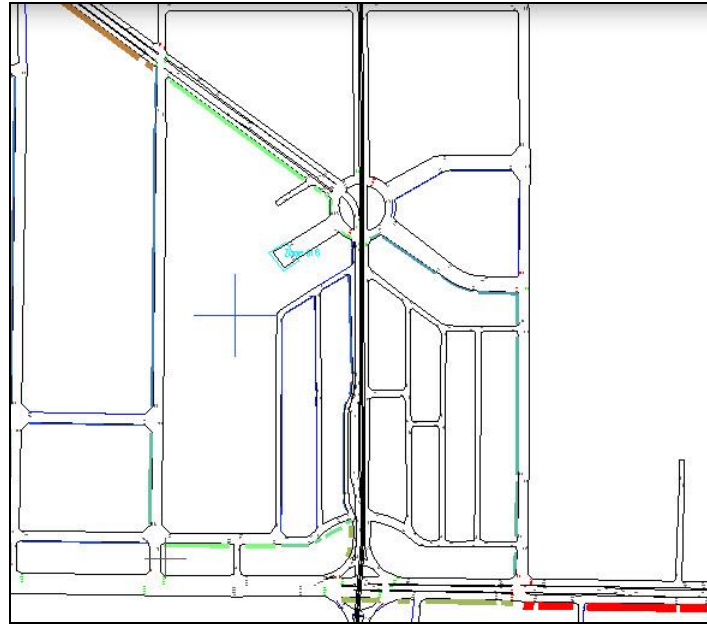
Paramics dispone de las siguientes alternativas en los métodos de asignación de tránsito:

- ***"All-or-nothing"*** - Todo o nada
- ***Stochastic*** –Asignación estocástica con coeficiente de perturbación
- ***Dynamic feedback*** – retroalimentación dinámica
- ***Combinación de las anteriores***

En nuestro caso fue adoptado un algoritmo de asignación estocástica, con retroalimentación dinámica con periodo de 15 segundos, y coeficiente de perturbación 5.

Esto permite que el modelo realice una asignación eficiente considerando las rutas alternativas entre dos puntos, especialmente en las zonas críticas, como lo es la

continuidad en la circulación en el eje de calle Rodrigo Gómez, donde una serie de vías paralelas (Camargo, Alfonso Reyes) establecen opciones de circulación válidas para los vehículos que desde Lincoln continúan su ruta por Ruiz Cortines.



**Asignación estocástica con retroalimentación dinámica**

### ***Tiempos de viaje***

La codificación de las condiciones geométricas y funcionales de la red permite obtener escenarios representativos de cada período de análisis.

Estos escenarios “copian” la realidad de una manera ajustada en todos sus componentes y condiciones, existiendo además, como se vio, la posibilidad de modificar distintos parámetros hasta lograr esa coincidencia.

Con respecto a los tiempos de viaje en los corredores principales puede decirse que constituyen uno de los elementos de análisis más representativos.

En esta etapa del proceso, los tiempos de viaje obtenidos del modelo serán los representativos de la denominada Línea de Base, que serán comparados, tanto para los vehículos particulares como para el transporte público, con el objeto de establecer los beneficios y penalizaciones que se alcancen para cada grupo.

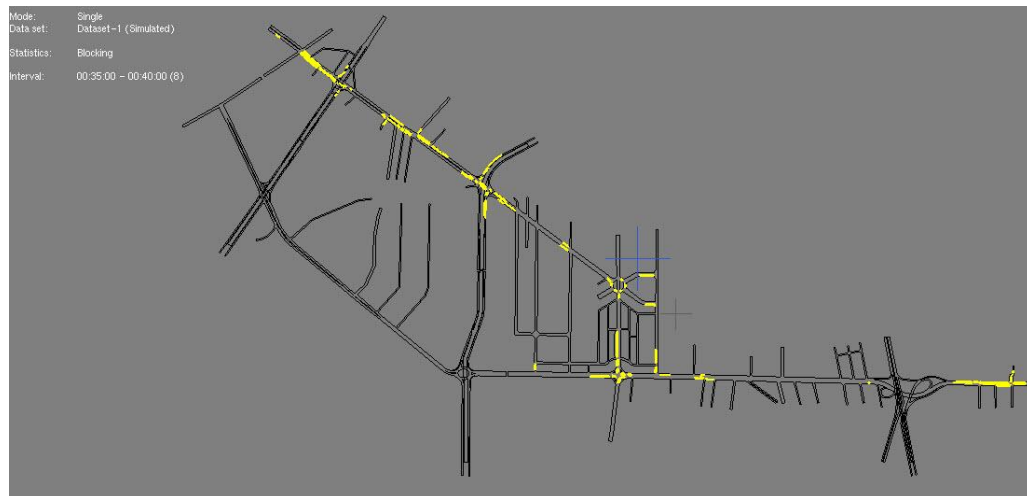


Es importante destacar que en recorridos cortos con intersecciones semaforizadas, la presencia de estos elementos modifica sensiblemente los resultados obtenidos. Si bien el modelo promedia los valores obtenidos respecto del tiempo de viaje en cada link durante un período que incluye tiempos de verde y rojo, las mediciones realizadas encuentran esta condición en algunas de las dos situaciones en forma aleatoria, y dependiendo de cómo se acceda a los tiempos de verde el valor obtenido puede modificarse en un rango mayor al conveniente en términos porcentuales al tiempo de viaje total.

### ***Formación de cola***

La última de las verificaciones realizadas respecto de la calibración del modelo de simulación se basa en la observación cualitativa de las formaciones de cola en el escenario simulado.

El modelo presenta la posibilidad de visualizar las colas que se forman en el período como se indica en el gráfico siguiente.



**Distribución de colas- Línea de Base**

Las zonas indicadas como conflictivas coinciden conceptualmente con aquellas que se observan en el terreno, por lo que este parámetro puede aceptarse como descriptivo de la realidad.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



---

Dadas las características estocásticas en las formaciones de cola y las indefiniciones que existen desde su propia definición (¿Cuál es la velocidad mínima de un vehículo para considerarlo como parte de una “cola”? ¿Cuántos vehículos sucesivos mínimos deben presentarse para considerar que se ha configurado una cola? ¿Cuál es la longitud de cola en una calle de varios carriles? ), la calibración de colas se realiza desde la visualización dinámica que el modelo presenta como salida y de la representación estática de los máximos que se presentan en un determinado período. Como método válido, se trata de comparar las colas, o distribución de densidades de vehículos, que se presentan en el modelo con aquellas que se visualizan en la realidad.





---

## **Parámetros funcionales de la Línea de Base**

### ***Generalidades***

Como paso siguiente, se determinaron los indicadores de eficiencia (MOEs) de la situación actual, que servirán de base para la comparación entre este escenario y el descriptivo del proyecto. Estos parámetros evalúan en forma global los principales indicadores que describen el desarrollo del tránsito, y complementan la información correspondiente a viajes o sectores particulares del área en estudio, ya analizados anteriormente.

Las características estocásticas en la generación del modelo de simulación imponen la necesidad de realizar varias “corridos” para determinar los parámetros de un mismo escenario, aplicándosele el tratamiento estadístico correspondiente. Esto significa que (al igual que ocurre en los fenómenos asociados al tránsito en la realidad) igualdad de volúmenes horarios como dato de entrada no implica siempre la obtención del mismo resultado. Es por ello que tanto la tabla de flujos de tránsito como los gráficos se han realizado en base a, al menos, cinco colecciones estadísticas de datos distintas.

En los puntos siguientes, se definen y describen los Indicadores de Eficiencia adoptados para el análisis. Los MOEs buscados para la realización de la cuantificación de parámetros operativos y comparación de escenarios pueden ser múltiples y específicamente definidos para el análisis de una situación particular.

Asimismo, estos indicadores pueden estar desagregados por tipo de vehículos, sector, corredor u otra condición que se ajuste a las necesidades del estudio.

En este estudio en particular, se determinaran los indicadores de eficiencia desagregados en vehículos particulares y buses, ya que la concepción del proyecto propone estimular el uso del segundo grupo, desalentando al primero, pero manteniendo para estos adecuadas condiciones de circulación



---

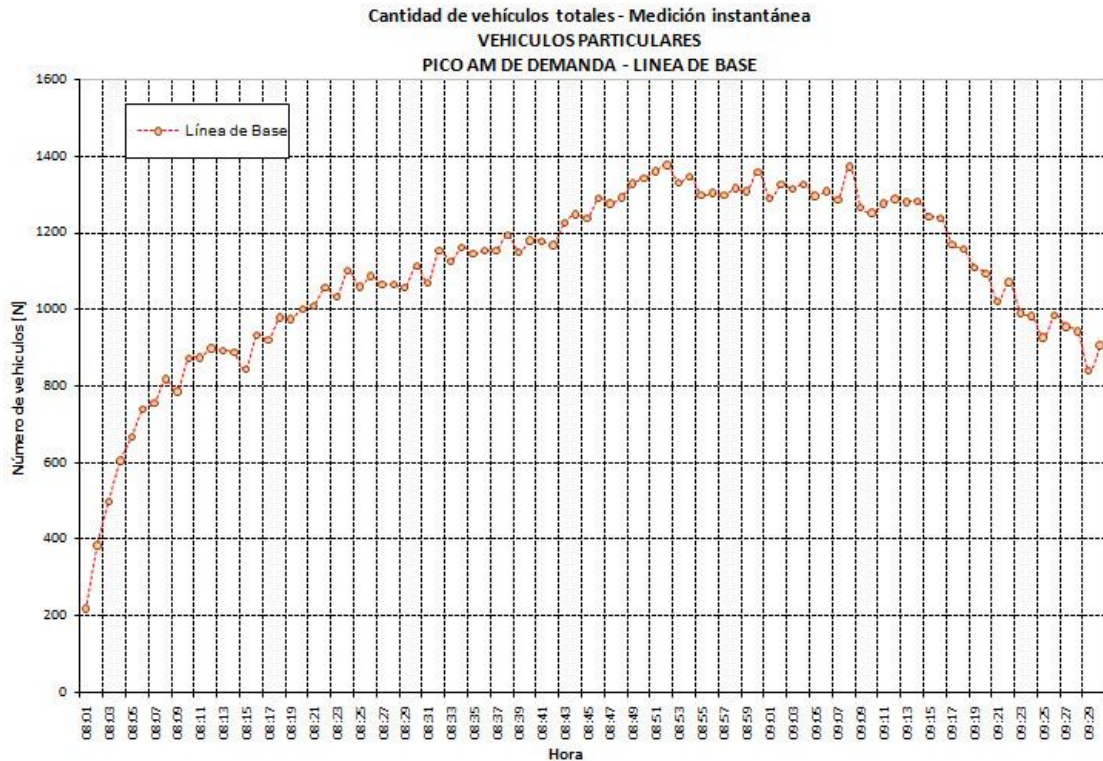
### ***Selección de Indicadores de Eficiencia***

#### **Cantidad de Vehículos – Medición Instantánea (Current All NV)**

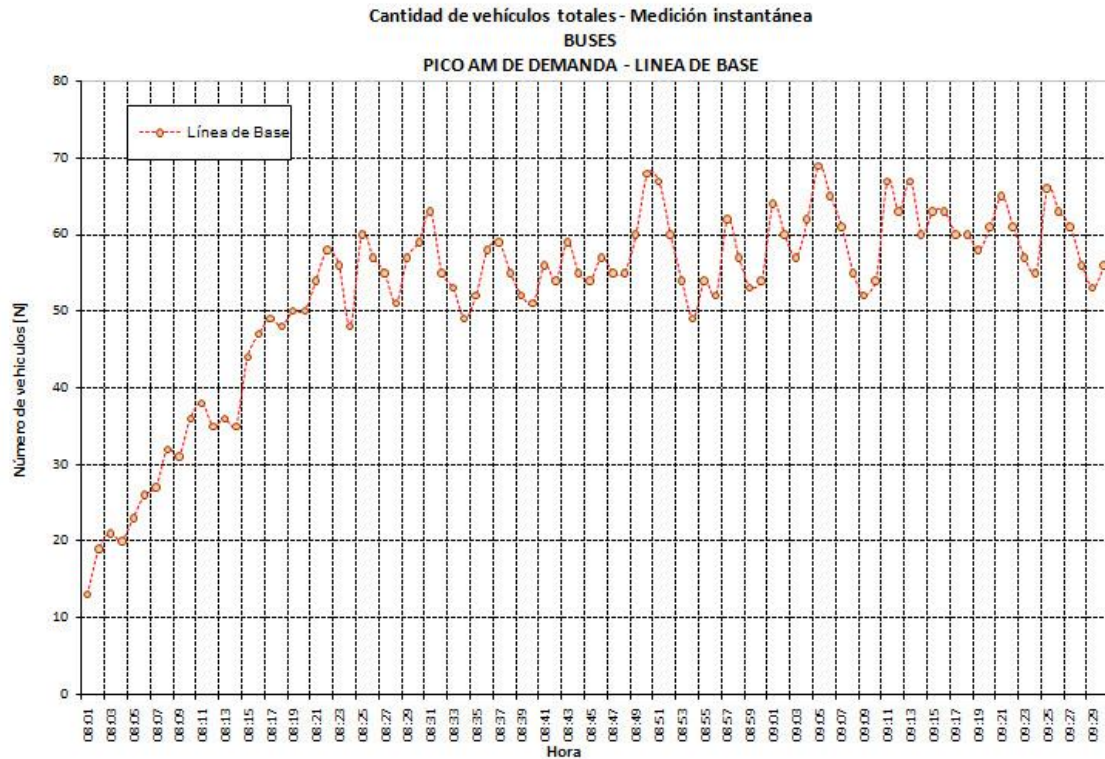
Representa la cantidad de vehículos que se encuentran en el sector en estudio en forma simultánea en instante determinado. La cantidad de vehículos e la red, a igualdad de demanda establecida en el período determinado, es indicador de la facilidad que los vehículos disponen para realizar sus viajes y se vincula con la cantidad y grado de los conflictos instalados en la red. Una menor cantidad de vehículos en la red significa que una mayor cantidad de ellos ya han salido del área simulada, finalizando su viaje, por lo que se infiere tiempo de viaje menores y menor cantidad de conflictos instalados.

Los gráficos permiten identificar los “gridlocks” o bloqueos en la red, que se genera por una situación extrema de congestión y que incrementen la cantidad de vehículos en la red en forma no proporcionar a la demanda.

Se incluyen los gráficos correspondientes a los vehículos particulares y a los buses.



Cómo se indicó anteriormente, se incluyó un perfil de demanda que distribuye los flujos medidos con un perfil preestablecido. La cantidad de vehículos en la red “copia” este perfil si no se presentan situaciones de conflicto que la comprometan. Cualitativamente, el principio de la simulación se desarrolla en el primer cuarto de hora y se “carga” la red con una demanda menor, mientras que el último cuarto la demanda se disminuye con el propósito de detectar la capacidad de “recuperación” de la red luego de ser absorbido el periodo de pico de demanda.



Los buses no poseen perfil de demanda. Su funcionamiento se rige por los cronogramas de funcionamiento que se incluyen en su definición, por lo que una vez estabilizada su presencia se mantienen constantes dentro de un entorno determinado, siempre y cuando la red se encuentre estabilizada y sin conflictos mayores instalados.

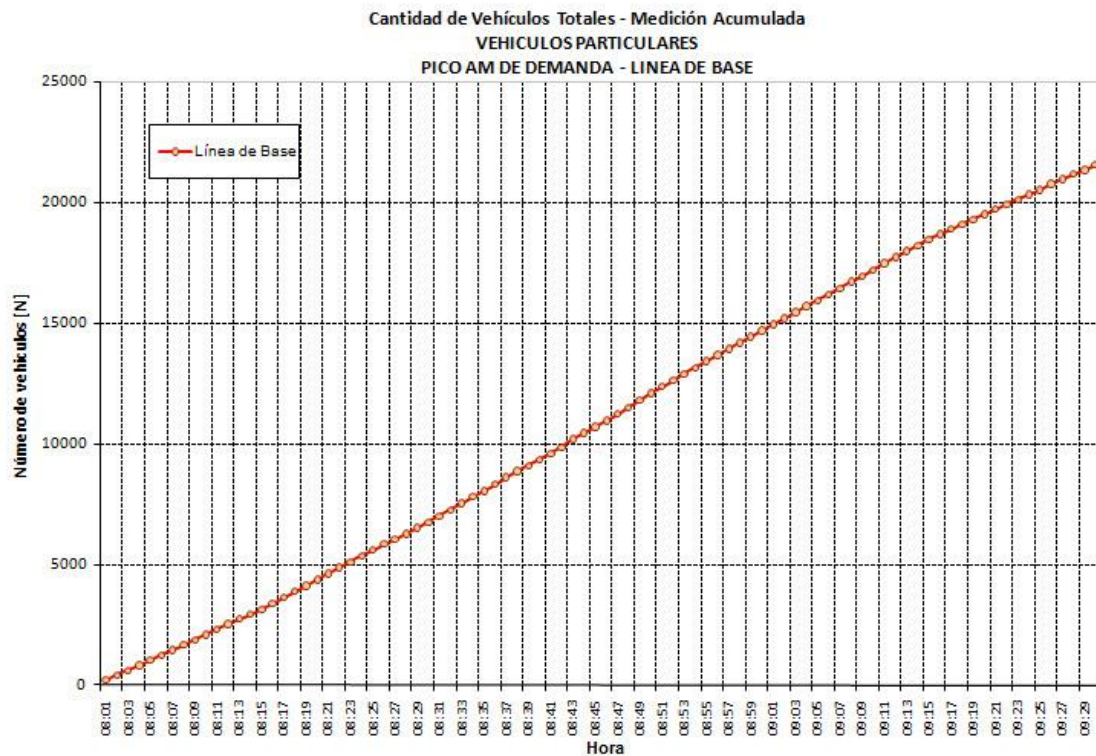
### Cantidad de Vehículos – Medición Acumulada (Total All NV)

Este indicador muestra la cantidad de vehículos que, en forma acumulada, han logrado ingresar en la red. A igualdad de demanda, las curvas de distintos escenarios deberían ser idénticas a excepción que se presenten casos donde la conflictividad de la red propaga sus efectos en una magnitud tal que se bloquean los links de acceso al modelo, impidiendo que se incorporen los nuevos vehículos generados. Este ultimo efecto puede alterar el indicador NV descrito en el punto anterior, ya que en ese caso



la menor cantidad de vehículos en la red se debe a que no han podido entrar, pudiendo inferirse erróneamente que ya han realizado su viaje. Es por eso que este indicador resulta un elemento de control de la demanda del escenario estudiado y de la validez del indicador anterior.

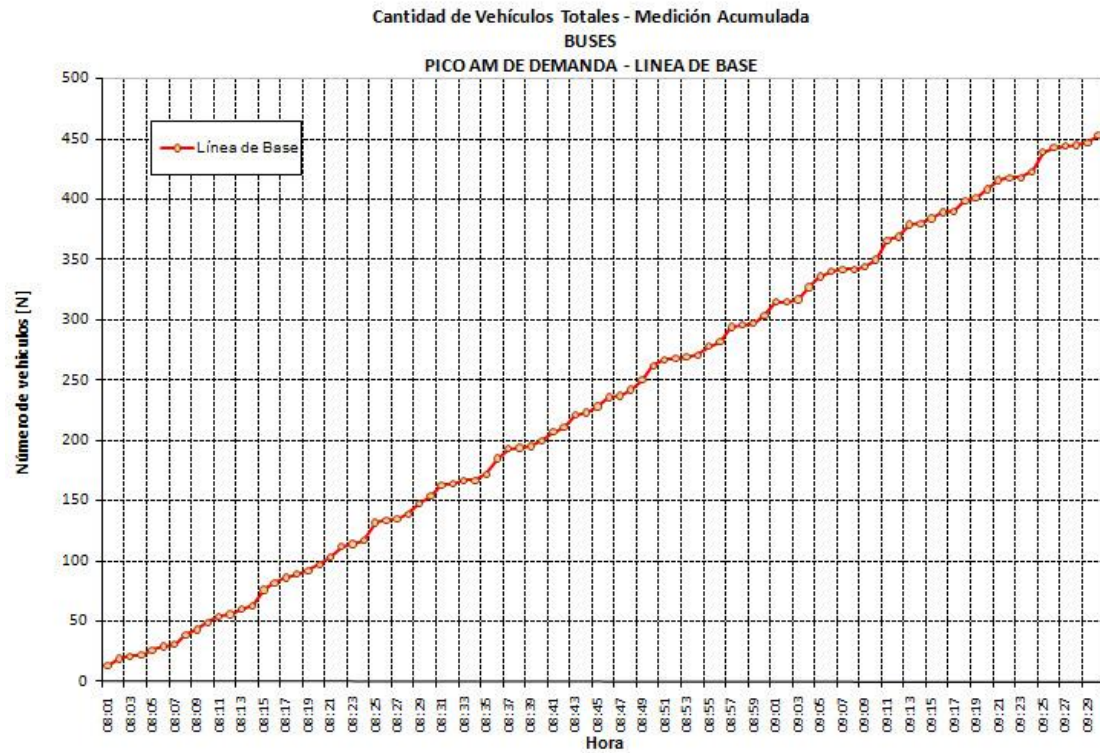
Nuevamente, en el caso de vehículos particulares, su forma (en este caso su pendiente) está asociado al perfil de demanda definido.







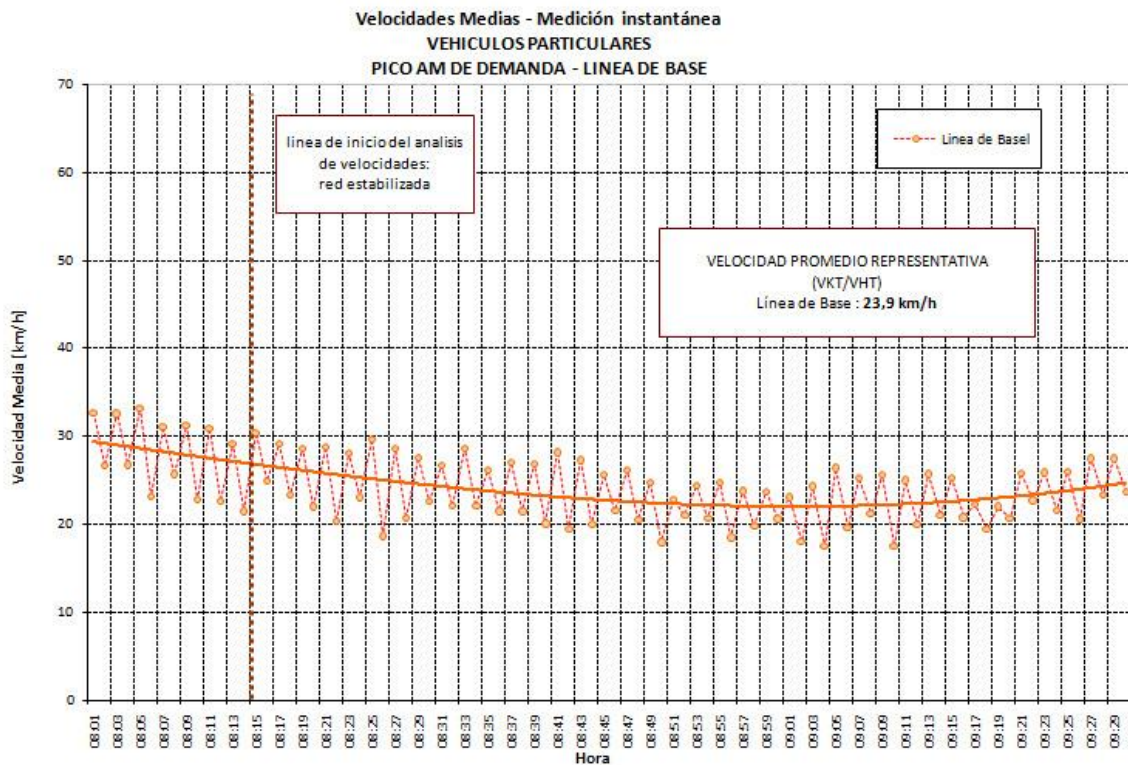
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**





### Velocidad media (Current All Mean Speed)

Se trata de la descripción de las velocidades medias promedio para todos los vehículos en un instante determinados. En forma simplista, puede decirse que es el promedio de las lecturas de los velocímetros de todos los vehículos si pudiese obtenerse un registro instantáneo de todos ellos instante a instante.

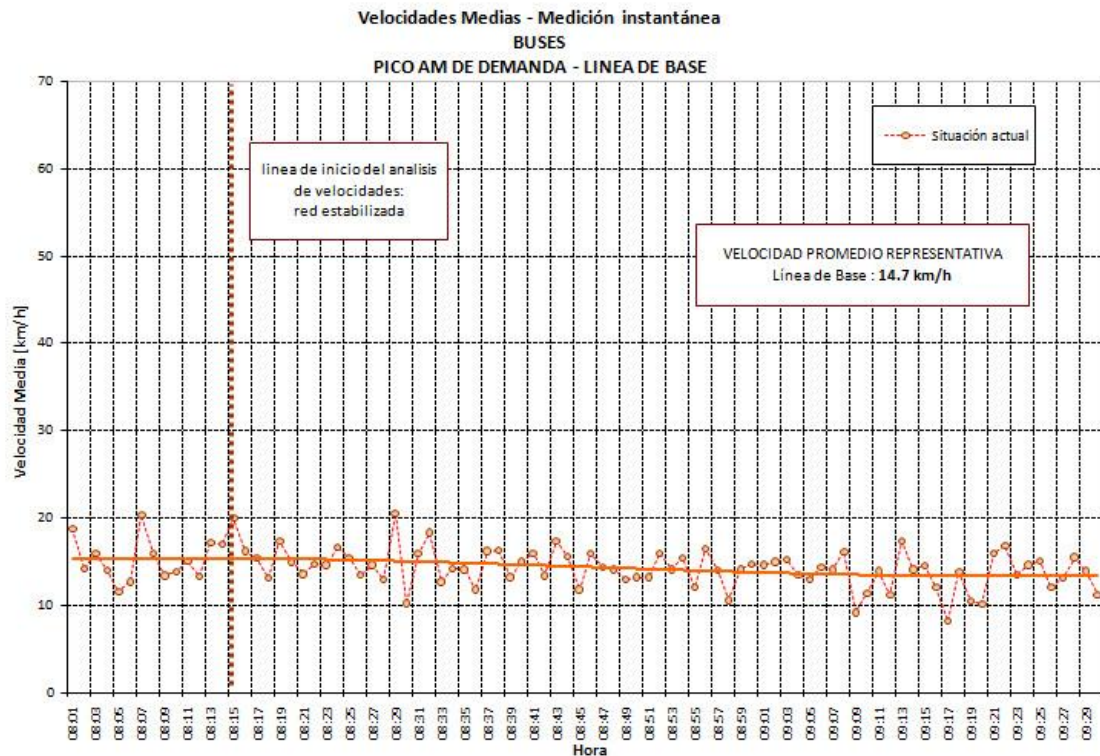


Es importante destacar que al tratarse de un promedio de las velocidades instantáneas, resulta muy sensible a los valores extremos. En nuestro caso toma especial importancia los vehículos que se encuentran detenidos por la acción de la semaforización, que generan una fuerte disminución en el valor medido respecto de las velocidades medias de viaje.

Si bien el grafico considerado muestra los efectos de las variaciones de la velocidad instantánea en función del tiempo, es importante contar con un valor referencial

global de la velocidad media, establecido como la cantidad de kilómetros recorridos totales (VKT) dividido en la totalidad de tiempo insumido en recorrer esa distancia (VHT). Este valor se incluye en el recuadro.

La definición de los indicadores VKT y VHT se incluye en los puntos siguientes.



En el caso de los buses, el efecto de la velocidad nula se magnifica al superponerse los tiempos de velocidad nula en los semáforos a los que corresponden a la detención para ascenso y descenso de pasajeros.

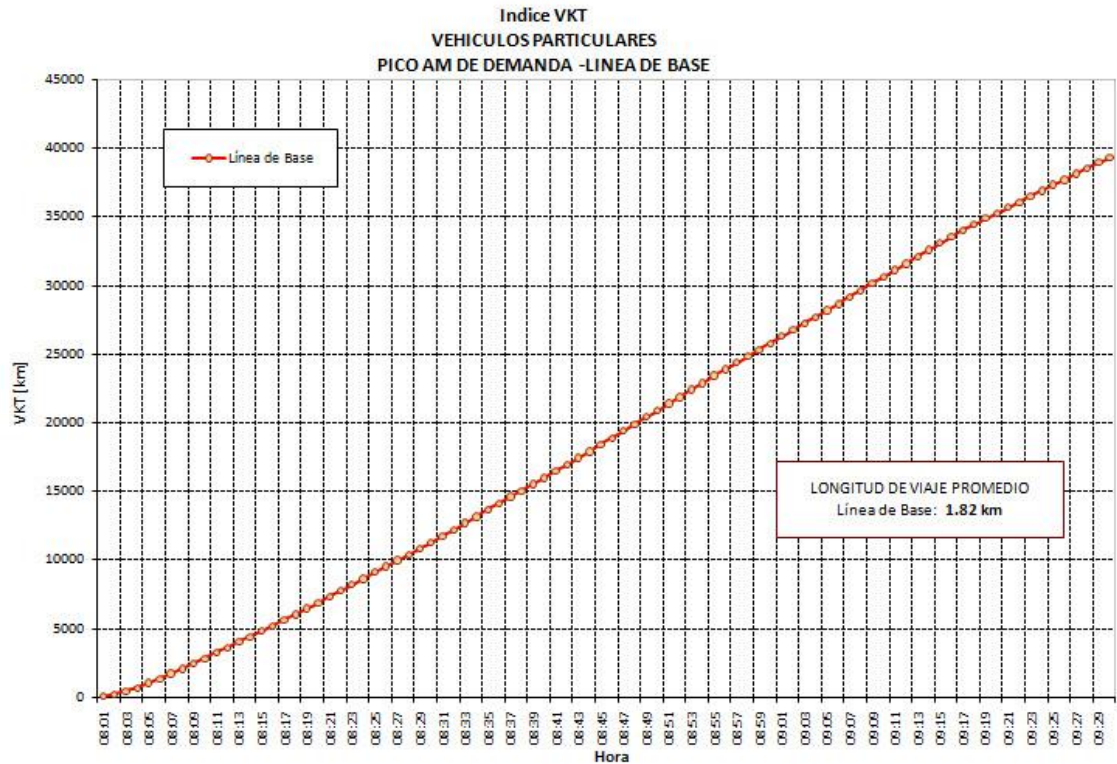
### **Cantidad de kilómetros vehículo recorridos (VKT)**

Se trata de la cantidad de kilómetros recorridos por la totalidad de los vehículos en forma acumulada desde el inicio de la simulación. Muchas veces existen escenarios



que implican una disminución de los tiempos de viaje en función de una mayor velocidad sobre un recorrido mayor.

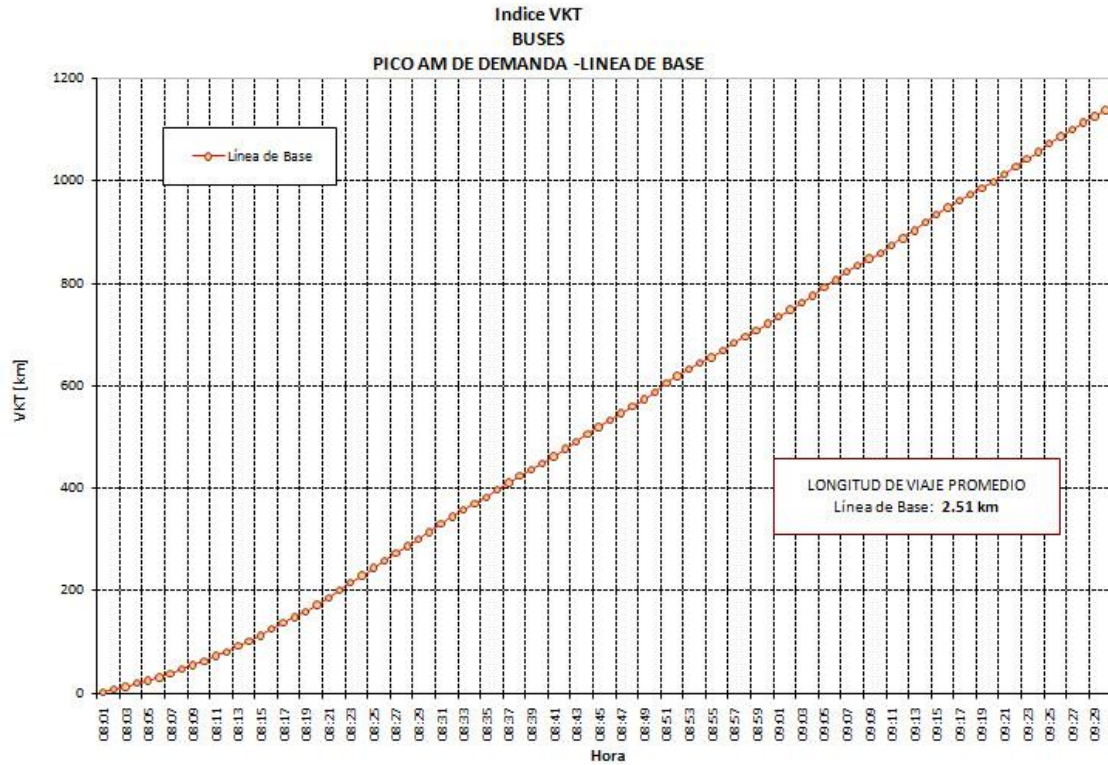
Por lo tanto es un indicador directamente asociado a establecer funciones de consumo de combustible, emisión de contaminantes y costos operativos.







**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**

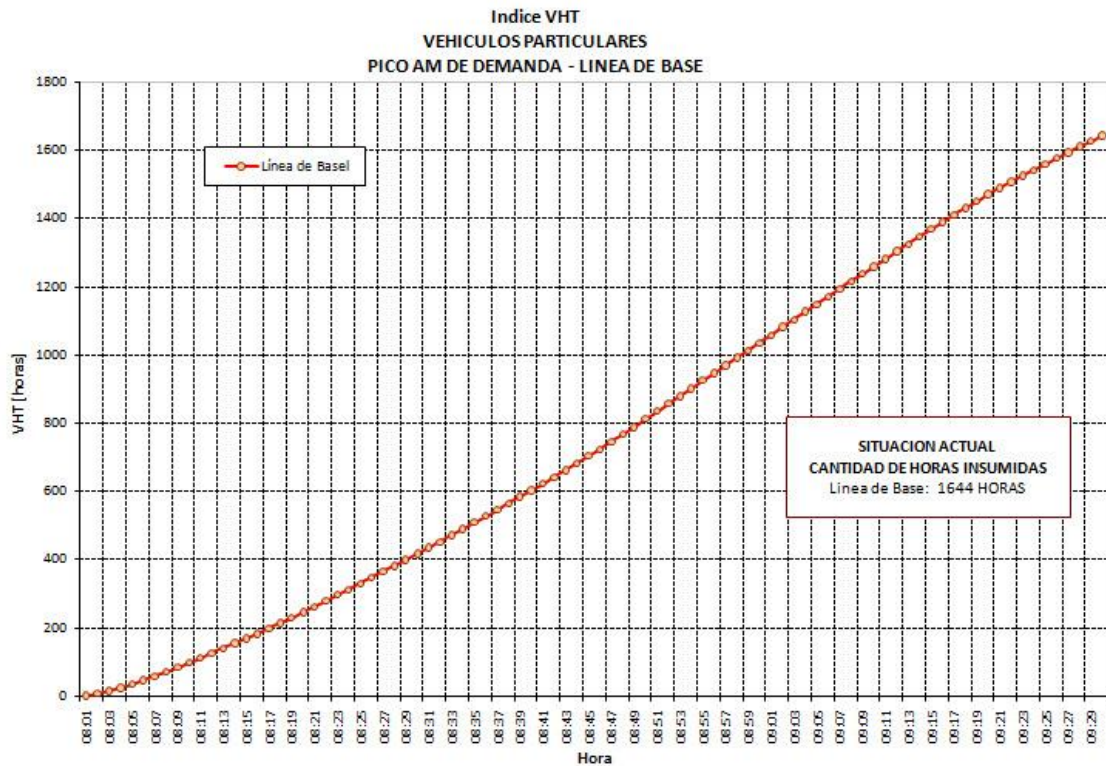






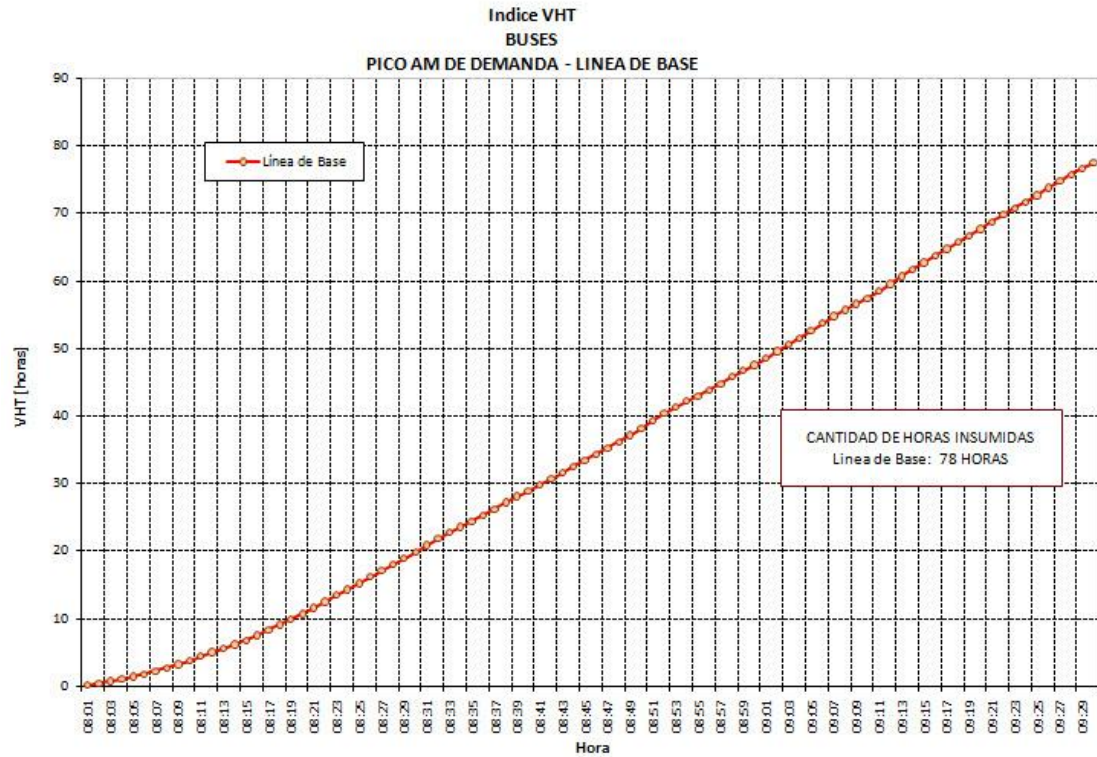
## Cantidad de horas vehículo insumidas (VHT)

Se trata de la cantidad de horas totales insumidas hasta un momento determinado, que han sido utilizadas en para la realización de los viajes establecidos según la matriz OD establecida. Es un indicador fundamental porque permite evaluar en forma directa el ahorro o pérdida de tiempo que los usuarios de la red reciben en su conjunto, con relación univoca con el beneficio obtenido por los usuarios.





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**





---

## **PROYECTO**

### ***Generalidades***

El proyecto propone la materialización de un sistema de transporte del tipo BRT, que utiliza dos carriles centrales como vía de circulación exclusiva, generando alternativamente paraderos al Norte y al Sur de dicha traza para abastecer a los buses de recorrido Este Oeste y Oeste Este respectivamente.

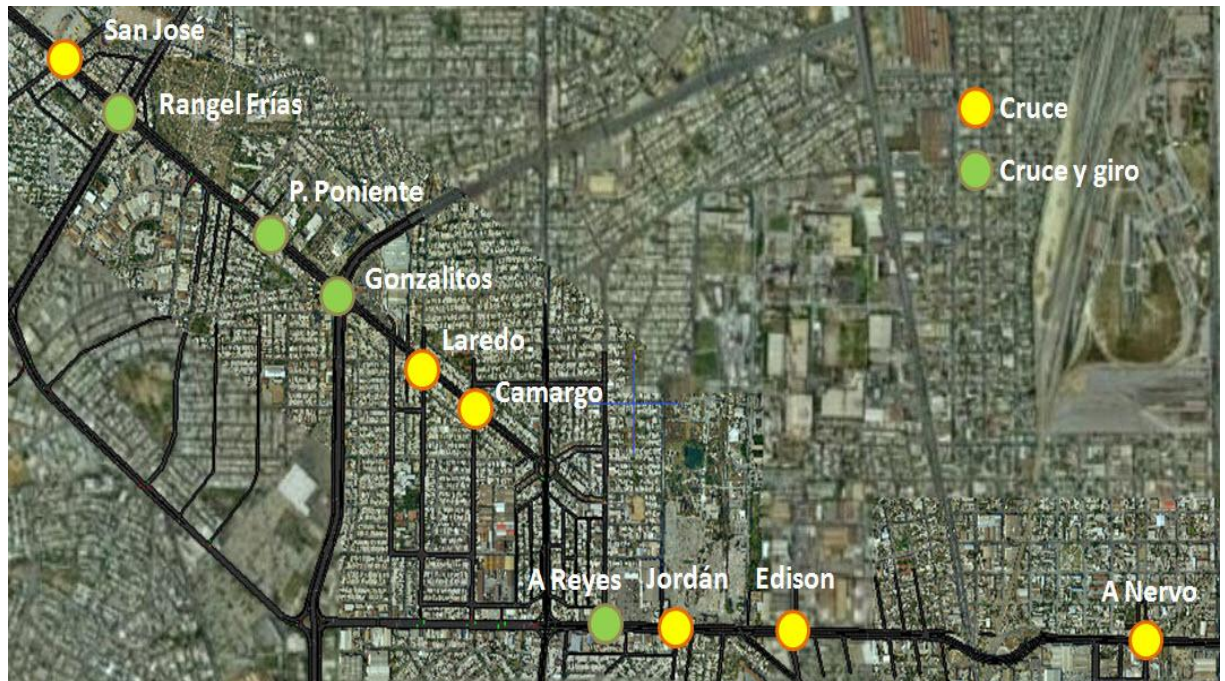
El transporte público encuentra en este sistema un medio de maximizar su capacidad que resulta económico en comparación con otras alternativas.

La necesidad de espacio para instalar la infraestructura necesaria y dar prioridad a la operación de los buses impone una serie de limitaciones a la circulación de vehículos particulares que se manifiesta en sectores con menor cantidad de carriles para su circulación y restricciones en los giros y cruces.

Otro de los temas importantes en el caso del BRT propuesto, es la imposibilidad de instalar dársenas de acumulación de cola para los vehículos que van a realizar los giros en los lugares permitidos. A la restricción debida a la disponibilidad de una menor cantidad de carriles se suma la ocupación de otros por los vehículos en espera.

Ante la falta de espacio físico para desarrollar esas dársenas, puede plantarse la realización de giros realizando sobre recorridos sobre la red urbana existente, de manera que la espera se realice sobre una vía secundaria, realizándose la maniobra como un cruce de la avenida y no como un giro a la izquierda.



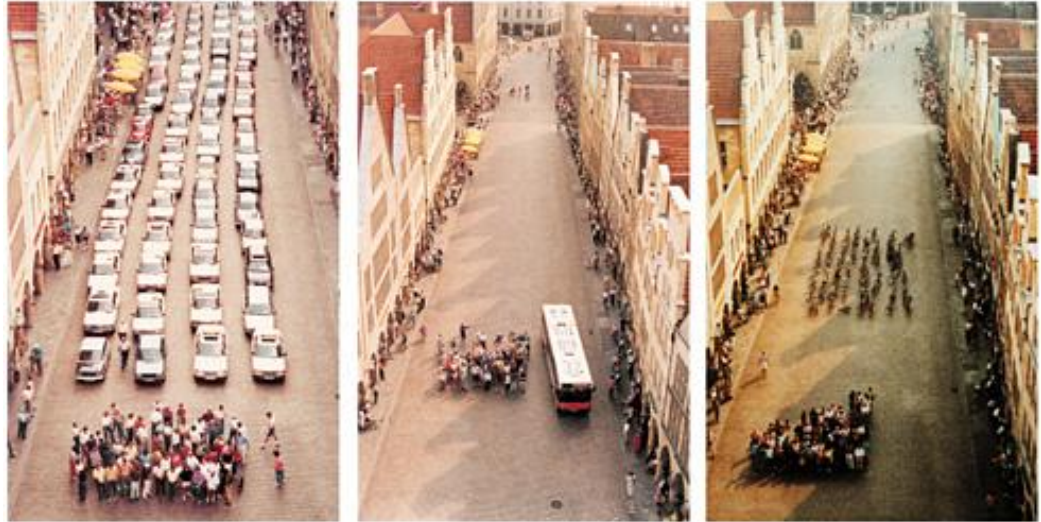


**Cruces y giros izquierda**

La disponibilidad de puntos de cruce del corredor está planteada en los términos que describen en el gráfico anterior, que muestra la disponibilidad de puntos de cruce (amarillo) y de cruce y giro a la izquierda desde la avenida (verde) que el proyecto propone.

En los procesos de implementación de sistemas de transporte de este tipo se busca lograr el cambio modal de transporte de los usuarios, en especial de los “commuters”, o sea aquellos que realizan viajes diarios desde su hogar a su actividad diaria (generalmente trabajo o estudio) y regreso al terminar.

Es por ello que un mejor sistema de transporte genera menor utilización del automóvil, con el consiguiente beneficio de menor cantidad de vehículos en la red, menores condiciones de congestión recurrente, menores emisiones de contaminantes, menor emisión de ruidos, mejores tiempos de viaje, menores consumos de combustible.



**Modos de transporte**

La inclusión del sistema BRT propuesta genera sin embargo limitaciones en la circulación de vehículos particulares, al restringir la capacidad de calzada y limitar las posibilidades de giro. Si bien la ecuación general del proyecto es claramente positiva, la movilidad general de los vehículos particulares podría disminuir, y es por eso que deben analizarse intervenciones necesarias para lograr adecuar el escenario final al buen funcionamiento de todos los modos de transporte.

La descripción de la geometría detallada del proyecto excede al presente informe, incluyéndose a continuación una serie de imágenes que describen la forma en que se propone la resolución de los movimientos en las intersecciones.

Estas condiciones geométricas y funcionales fueron incorporadas al modelo del escenario con proyecto, para proceder luego al análisis funcional de la red en estas condiciones.

### ***Geometría y funcionalidad del escenario con proyecto***

#### **Geometría**

La siguiente secuencia de imágenes muestra las características del modelo realizado, detallándose las premisas que fueron adoptadas para la resolución de los giros y cruces más comprometidos.





**Características Geométricas -Lincoln y Parque Poniente**



**Características Geométricas -Lincoln y Gonzalitos- Propuesta inicial sin túnel**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



Características Geométricas –Vista del Corredor Lincoln





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Características Geométricas -Lincoln Rodrigo Gómez**



**Características Geométricas –Corredor Ruiz Cortines**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Características Geométricas –Corredor Ruiz Cortines**





---

## **Funcionalidad**

En la secuencia siguiente se describe la forma en que se han incluido los movimientos característicos en el modelo de simulación, en coincidencia con lo inicialmente propuesto por el proyecto realizado.

La secuencia de análisis incluye estos elementos en el modelo de simulación para determinar los parámetros funcionales de la red con estos conceptos incluidos, y proceder a la aceptación o modificación de los mismos.

Las características del proyecto impone la priorización en la circulación de los buses. Para lograr ese objetivo se implementan medidas de aplicación sistemática como:

- Carriles exclusivos para la circulación de los buses, desagregados por medios físicos de los que canalizan el transporte privado
- Minimización de los cruces e interrupciones en la circulación
- Priorización en la circulación en los cruces, mediante la adecuación de la señalización luminosa

La inclusión de un número reducido de interrupciones materializadas como cruces sobre el recorrido de los buses genera concentración de vehículos en esos puntos, por lo que el aumento de la demanda debe ser el primer punto a considerar en la búsqueda de soluciones.

Asimismo, el primer punto enunciado provoca la disminución de los espacios residuales sobre los cuales debe desarrollarse la infraestructura que abastece a la circulación del resto de los vehículos. Esa limitación es más notoria en aquellos puntos donde los giros a la izquierda requieren espacio para la formación de colas en espera de la prioridad asignada por el semáforo, ya que no es factible el desarrollo de áreas de detención y espera.

Por lo tanto, las consideraciones anteriores imponen la necesidad de encontrar soluciones que permitan los movimientos de giro sin interrumpir el resto de los movimientos, en especial el tránsito pasante.





---

Como resultado de lo antedicho, se han implementado soluciones en cada punto de giro, basadas en la desagregación de los flujos que realizan cada movimiento, con las siguientes metodologías:

- Cruces a desnivel
- Recorridos adicionales sobre el mismo corredor hasta puntos de retome
- Recorridos sobre la red urbana existente, aprovechando para desagregar el tránsito por movimiento y zonas de espera sobre infraestructura disponible que posee capacidad ociosa.

Esta última solución es la de mayor aplicabilidad, ya que aprovecha espacios, infraestructura y capacidad vial disponible, por lo que los sobre recorridos se realizan sobre tramos de la red de baja conflictividad.

Para valorizar correctamente el impacto de las modificaciones incluidas, se incluye la siguiente tabla donde se indican los flujos actuales detectados en los principales puntos durante el pico matutino de demanda, y se indica cuáles son los que se mantienen, se relocalizan o se derivan sobre la red urbana.

Puede verse que se mantiene la conectividad en todos los casos, aun para volúmenes de tránsito con demanda detectada como nula, pero que la infraestructura y funcionalidad actual permiten el movimiento.



	ON	ES	NE	SO	Observaciones
San Jose	0	0	114	43	ON y SO retoman en Rangel Frias
Rangel Frias	151	125	343	125	El proyecto no restringe movimientos
Parque Poniente	127	79	130	0	Circulación inversa en Pque. Poniente
Gonzalitos	1505	634	304	634	Se incluye Paso a Desnivel del BRT
Simon Bolivar	44	342	630	190	El proyecto no restringe movimientos
Alfonso Reyes	226	0	1131	0	ON cruzan en 18 de marzo
18 de marzo	34	7	0	0	Recibe la derivacion de A. Reyes
Luis Mora	73	0	4	10	Complementan los movimientos
Edison	112	302	34	299	



Se derivan sobre la red urbana



Se mantienen en iguales condiciones



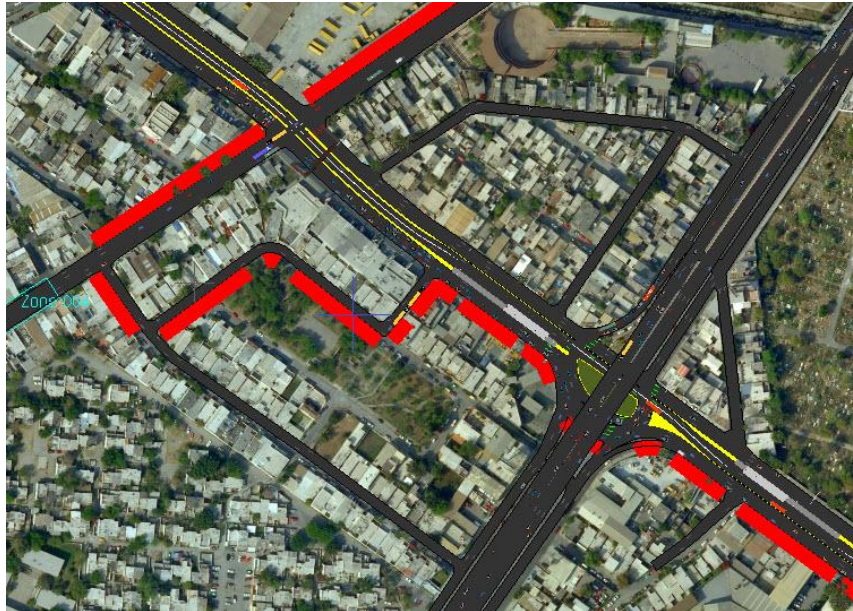
Se derivan a otras intersecciones

Como se ve, los flujos principales mantienen su funcionalidad actual, mientras que se ha tratado de derivar sobre la red urbana los flujos menores.

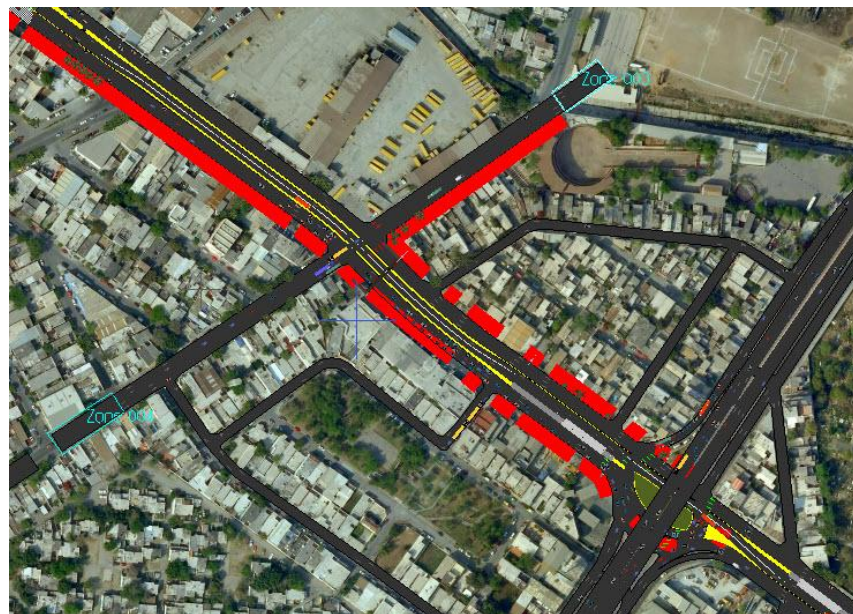
En todos los casos se analiza la configuración inicial. Sin embargo, si de la aplicación de los métodos de simulación surgiera la aparición de conflictos o se detectasen situaciones mejoradoras, se incluirán y desarrollarán en los puntos siguientes.

### *Lincoln y San José*

La intersección de Lincoln y San José dispone de una configuración que permite derivar los flujos que componen los giros a la izquierda, ya sea utilizando la red urbana o mediante la circulación y retome hasta la intersección de Rangel Frias, a 220 metros de distancia.



**Giro a la izquierda desde el Norte.**  
**Sobre recorrido sobre red urbana**

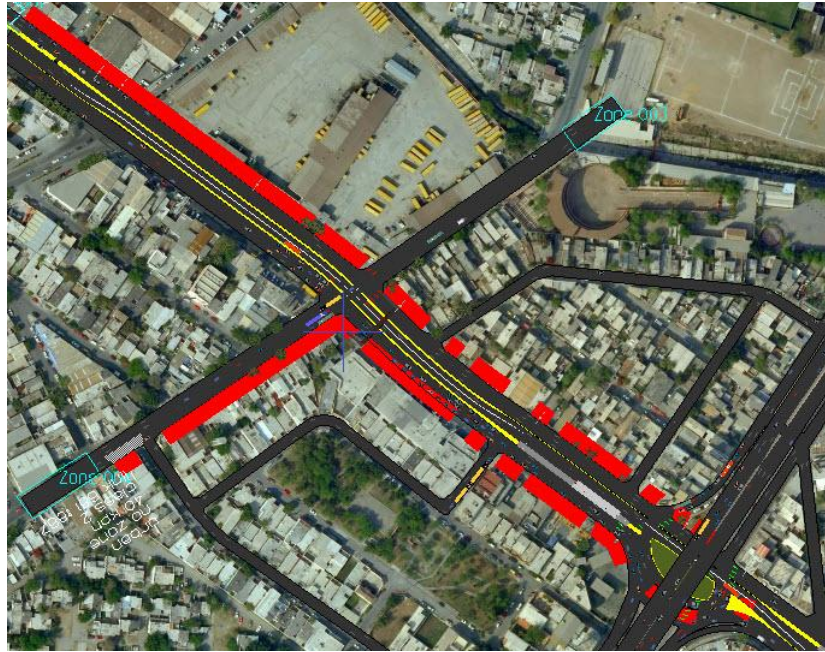


**Giro a la izquierda desde el Oeste**  
**Retome en Rangel Frías**





**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Giro a la izquierda desde el Sur.**  
**Retome en Rangel Frías**



---

*Lincoln y Valle de Anahuac , Lincoln y Matías Ramos*

Se trata de dos calles secundarias que mantienen la funcionalidad actual, ya que no existen giros ni cruces en coincidencia con su traza.

***Lincoln y Rangel Frías***

En esta intersección todos los movimientos se mantienen, regulados por la actividad semafórica allí presente.



**Movimientos en Rangel Frías y Lincoln**

Los movimientos son similares a los presentes en la actualidad, aunque las demandas crecen levemente debido a los recorridos con retome que se realizan sobre la intersección al estar restringidos en las adyacentes.

Uno de las consideraciones a realizar es la disposición de vehículos en espera para los giros a la izquierda desde Lincoln. Si bien los giros se corresponden con importantes





volúmenes, el flujo pasante debe ser considerado especialmente, por lo que se revisará, a la luz de los resultados de la modelización, la posibilidad de desarrollar dársenas de giro o recorridos sobre vías alternativas.

### ***Lincoln y Valle de los Pinos, Lincoln y Moises Saenz***

Estas intersecciones no reciben cambio respecto de la funcionalidad que poseen en el escenario actual

### ***Lincoln y Nueva Escocia***

El Proyecto restringe el movimiento de giro Sur Oeste que actualmente se dispone dentro de la funcionalidad de la red. Se requiere un recorrido sobre Lincoln y un retome sobre la red urbana, como se indica en el siguiente gráfico.

Si bien el sobre recorrido relativamente importante (400 metros) los volúmenes que realizan ese movimiento no son significativos.



**Giro hacia el Oeste en Nueva Escocia**



---

### *Lincoln y Nueva Inglaterra, Lincoln y Nueva Orleans*

Al igual que otras intersecciones ya descritas, no reciben cambio respecto de la funcionalidad que poseen en el escenario actual

### *Lincoln y Parque Poniente*

Desde el punto de vista funcional, es una de las intersecciones más exigentes ya que presenta un número relativamente importante de giros.

Asimismo, las condiciones geométricas no permiten desarrollar dársenas de espera, por lo que la fase semafórica que permite los giros debe ser de la mayor eficiencia, para abastecerlos pero al mismo tiempo minimizar la interrupción de los movimientos sobre el corredor BRT.

La propuesta incluye entonces la inversión de los sentidos de circulación al norte de la intersección, de manera de proceder en forma simultánea a los giros desde el Oeste hacia Parque Poniente, y desde Parque Poniente al Este.

Debido a esto, debe realizarse un sobre recorrido urbano para acceder a Lincoln desde el Norte hacia el Oeste, ya que el entrecruzamiento se produce en este movimiento, debido a la inversión en la circulación citada.



Giros EN y ON en Lincoln y Parque Poniente



**Giros ES y NO en Lincoln y Parque Poniente**

***Lincoln y Madero, Lincoln y Ciudad de Limón, Lincoln y Jardín del Parque Burgos***

Se mantienen las condiciones actuales de circulación.

***Lincoln y Gonzalitos***

La demanda de giros en esta intersección es importante, y la necesidad de semaforizarla adecuadamente incluyendo una mayor exigencia de espacio generaría que la intersección sea un punto de muy baja eficiencia.

Este concepto se opone al objetivo de mejorar las condiciones de circulación del transporte público, que se vería involucrado directamente en esta situación.

Para solucionar este punto, se propone una de las mayores intervenciones del proyecto, al incluirse un cruce a desnivel para el corredor del nuevo sistema BRT.

El resto de los movimientos se manifiesta en el nivel actual de calzada, donde se dispone de suficiente lugar para realizar las maniobras de giro e incluso desarrollar la acumulación de vehículos en espera en forma ordenada, en mejores condiciones que las actuales, al disponerse de mayor espacio y haberse desagregado el flujo de buses del flujo general.





**Lincoln y Gonzalitos- Propuesta definitiva**

### ***Lincoln y Reynosa***

Mantiene la funcionalidad actual

### ***Lincoln y San Fernando***

La traza de San Fernando se interrumpe por la presencia de uno de los paraderos diseñados para el ascenso y descenso de pasajeros.

Los movimientos actuales de giro a la izquierda y cruce deben desarrollarse sobre la red urbana hasta los cruces de diseño.

Los movimientos desde el Sur deben resolverse sobre Laredo, mientras que los provenientes del Norte se hacen mediante retome en Gonzalitos

### ***Camargo – Laredo***

La configuración del entorno permite, definiendo las dos intersecciones como cruces, resolver los giros a la izquierda con apoyo de las calles Río Magallanes y Río Grijalva. Es esquema muestra las características de la propuesta en este tramos, que permite el funcionamiento como par de las calles citadas.



Laredo- Camargo- Propuesta como par vial

### ***Lincoln y Rodrigo Gómez***

Este distribuidor rotacional ve modificada su funcionalidad al perder la continuidad, para permitir la circulación directa del corredor exclusivo para buses. Se incluyen además carriles exclusivos para buses en el su desarrollo.





Algunos movimiento por lo tanto, entre ellos una de las líneas de buses que no integra el corredor exclusivo (314-Monclovita-Las Palmas), deben derivarse sobre las calles de la red que lo circunda.

Por la configuración resuelta, no se altera en forma significativa los recorridos de los vehículos particulares cuya ruta atraviesa esta rotonda.



Lincoln Rodrigo Gomez- Vista



Lincoln Rodrigo Gómez- Planta

### ***Ruiz Cortines y Alfonso Reyes***

Esta intersección presenta un importante componente en el flujo que desde el norte se incorpora a Ruiz Cortines.

Ese movimiento se realiza en forma protegida por el semáforo existente interrumpiendo la circulación del BRT. En función de ello, el movimiento de giro hacia el norte desde el Oeste por Ruiz Cortines ha sido vedado, con el propósito de minimizar las interferencias.



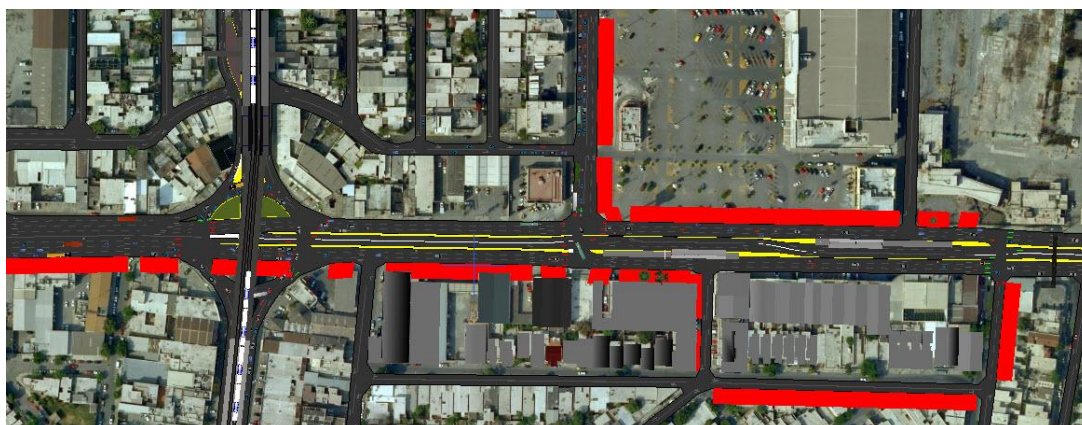


Este último movimiento puede realizarse a través de la red urbana adyacente e incorporación a Ruiz Cortines hacia el Oeste en Jordán, o bien mediante la circulación por el distribuidor rotacional de Ruiz Cortines y Simón Bolívar.

En las siguientes imágenes se describen estas opciones.



**Ruiz Cortines y Alfonso Reyes – Giro N-E**



**Ruiz Cortines y Alfonso Reyes – Giro O-N, opción 1**



**Ruiz Cortines y Alfonso Reyes – Giro O-N, opción 2**

***Ruiz Cortines Simón Bolívar***

Este distribuidor, en la configuración de proyecto, no limita la conectividad ni la movilidad existente.

En él se producen algunos intercambios entre los buses que se incluyen en el carril exclusivo solo en un tramo de su recorrido.

La capacidad del distribuidor se adecua a la demanda.





**Ruiz Cortines y Simón Bolívar**

***Ruiz Cortines y Rio Frio, Ruiz Cortines y Jordán, Ruiz Cortines y celulosa***

Ninguna de estas calles modifica su movilidad respecto de la situación actual, por lo que no se altera las condiciones de circulación en el entorno.

***Ruiz Cortines 18 de Marzo- Mora -Edison***

La sucesión de intersecciones en el tramo 18 de marzo, Amado Nervo se presenta con similares características que las anteriores.

En 18 de Marzo el giro a la izquierda desde el Este es el mas comprometido, ya que si bien la demanda es baja el sobre recorrido a realizar es importante, ya que debe circularse hasta realizar un retome en Simón Bolívar



**Ruiz Cortines y 18 de Marzo – Giro E-S**

En cuanto al cruce con la calle Edison los giros principales son resueltos mediante los semáforos allí presentes que permiten el giro a la izquierda desde el ESE al Sur y desde el Oeste al Norte, incluyendo en ese movimiento el retome que debe realizar la línea de buses que operará con ese recorrido (Línea 9, Santa Marta).



**Ruiz Cortines y Edison – Giro O-N y retome**





**Ruiz Cortines y Edison – Giro E-S**

Si de la aplicación del modelo surge la incompatibilidad de estos movimientos con la correcta funcionalidad del proyecto, se ajustarán las condiciones en el entorno para adecuarla a los objetivos buscados.

### ***Ruiz Cortines, Tramo Edison Bernardo Reyes***

En el tramo citado se presentan una sucesión de calles sin conectividad para el cruce o el giro, por lo que el proyecto no modifica la funcionalidad de este tramo.

De las calles citadas (20 de Noviembre, Venustiano Carranza, Martín Zavala, Dardanelo, Ramón Nieto, Termopilas) sólo Venustiano Carranza tiene actualmente cruce habilitado. En las condiciones de proyecto ese movimiento debe hacerse circulando hasta Edison mediante el uso de la red urbana.



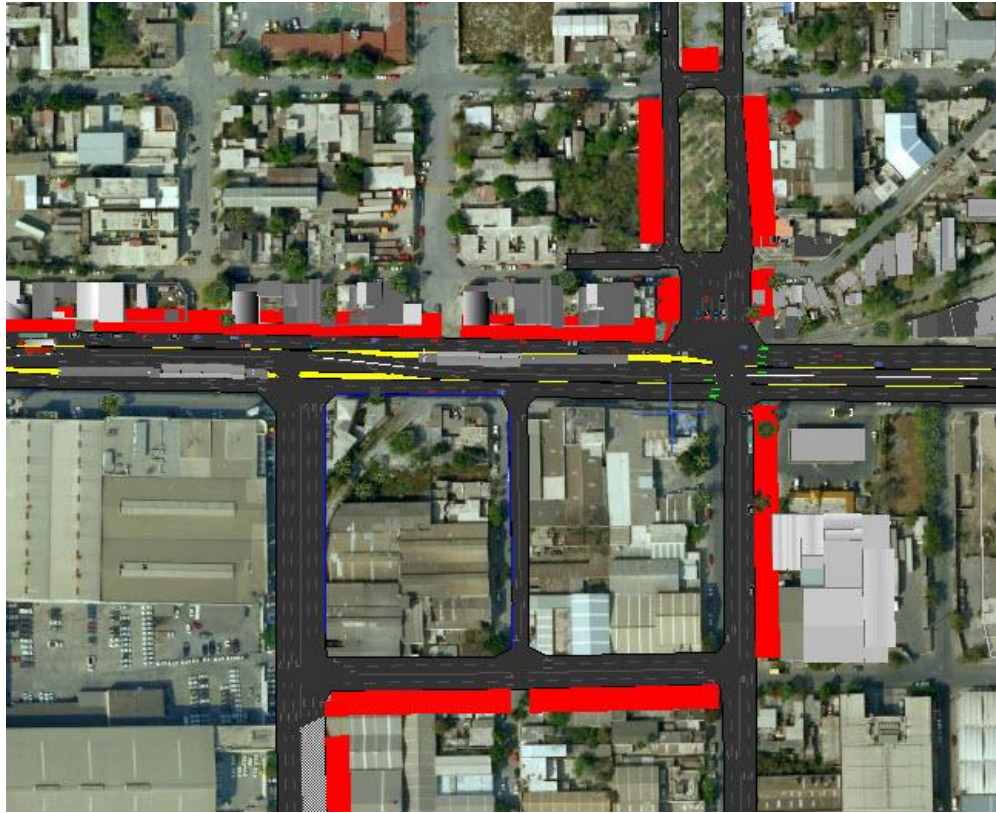
**Ruiz Cortines entre Edison y Bernardo Reyes**

***Ruiz Cortines y Villagrán, Ruiz Cortines y Amado Nervo***

La intersección con Villagrán ve reducida su movilidad al interrumpirse el cruce existente.

Sin embargo, los flujos que lo realizan, que no resultan significativos, pueden realizar le movimiento de cruce a través de la red urbana incluyéndose en los movimientos de Amado Nervo





**Ruiz Cortines y Villagrán**

En la intersección también se incluye un acceso (ingreso-egreso) que permite el intercambio entre el corredor exclusivo para buses y los recorridos que se desarrollan por fuera del mismo.

Respecto de la intersección con Amado Nervo, la configuración del entorno permite la materialización de los giros apoyándose sobre esa infraestructura. Los gráficos siguientes muestran las opciones.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Ruiz Cortines y Amado Nervo – Giro E-S**



**Ruiz Cortines y Amado Nervo – Giro O-N**



---

## **Parámetros funcionales del proyecto**

### ***Propuesta inicial***

#### **General**

En los siguientes puntos, se desarrolla la determinación de parámetros funcionales del proyecto planteado como se describió anteriormente, con el propósito de identificar posibles situaciones de conflicto y proponer modificaciones que optimicen las condiciones de circulación y minimicen los efectos no deseados

Se incluye la comparación de los MOEs del proyecto, con referencia a los mismos valores relativos a la línea de base.

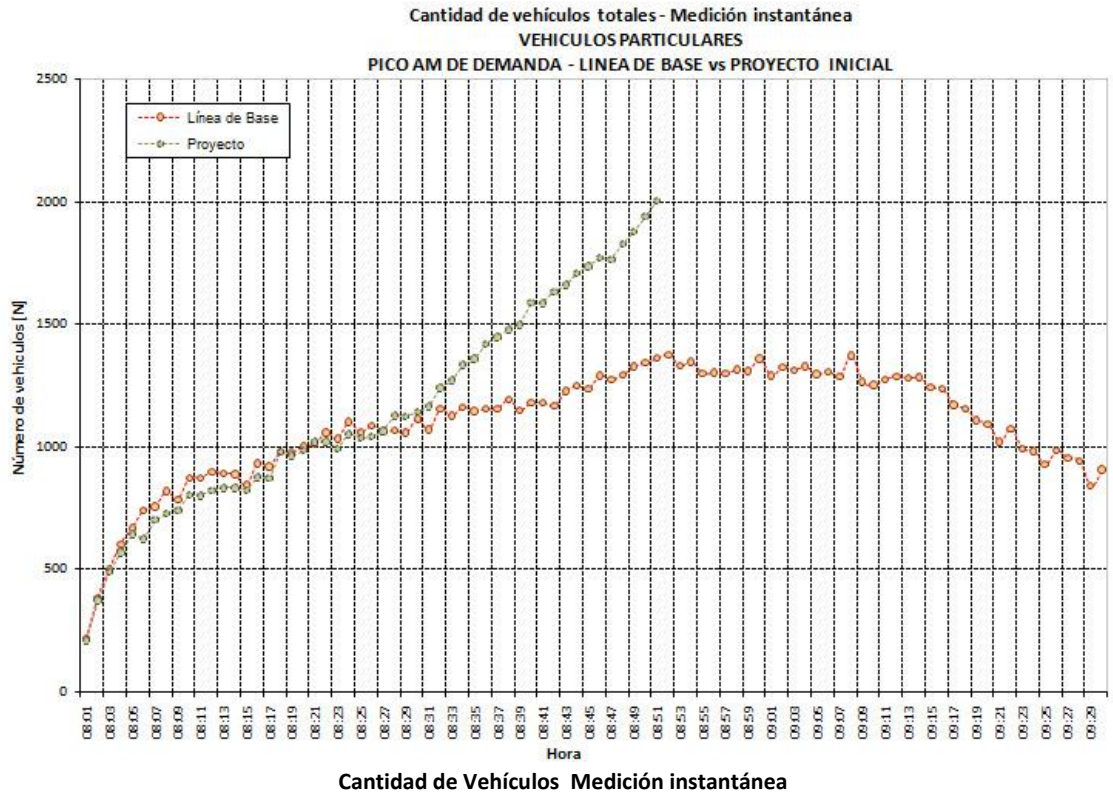
#### **Cantidad de vehículos, medición instantánea (*Current All NV*)**

La cantidad de vehículos resulta rápidamente descriptiva de las condiciones de circulación logradas.

Un crecimiento importante y continuo en la cantidad de vehículos en la red es muestra de situaciones de conflictos instaladas que requieren ser analizadas y solucionadas antes de seguir con la evaluación de los demás indicadores.

El gráfico siguiente muestra el resultado de las corridas realizadas en las condiciones iniciales planteadas





El gráfico muestra claramente que el sistema puede soportar la demanda de la primera etapa de la simulación, pero cuando la demanda se incrementa por efecto del perfil incluido, el número de vehículos crece en forma no proporcional al aumento de la demanda, sino en forma superior. Se evidencia que existe un número de vehículos que se ha incorporado al área en estudio y que queda retenido por las condiciones de congestión allí presentes.

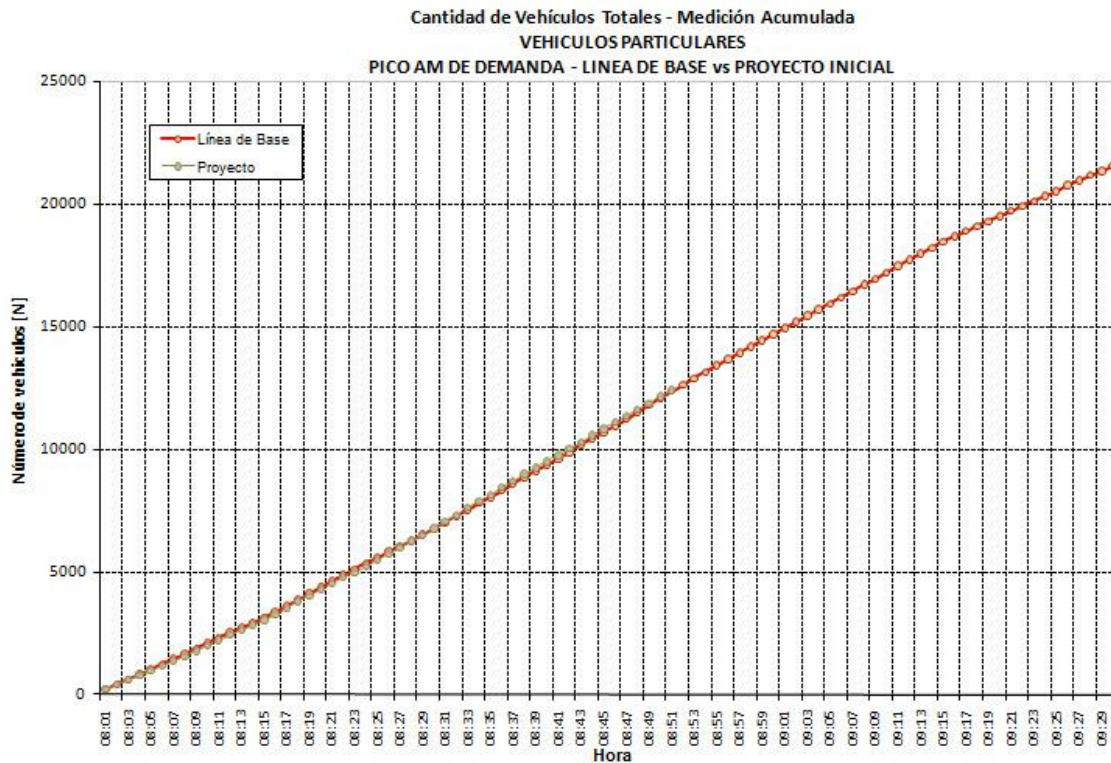
### Cantidad de vehículos, medición acumulada (Total All NV)

La situación anterior puede generarse también por un crecimiento de la demanda distinto del incorporado en la matriz OD. Para ello debe controlarse que la cantidad de vehículos que ingresaron a la red fue la correcta, sin presentarse demandas adicionales erróneas.



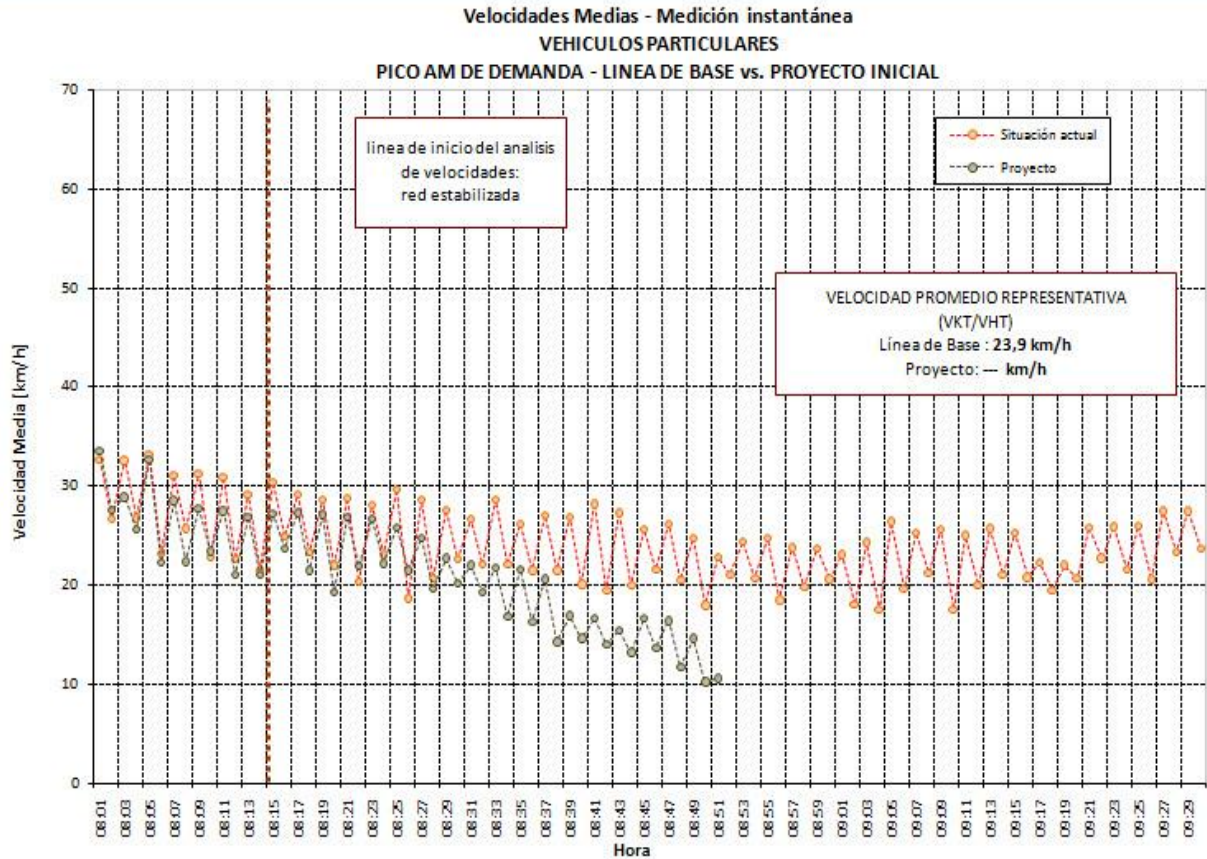


El siguiente gráfico muestra que la demanda incorporada es la correcta, ya que coincide en ambos escenarios.



### Velocidad media (Current All Mean Speed)

Como ratificación del análisis anterior, el grafico de velocidades medias muestra que las mismas presentan una caída pronunciada y continua desde el momento de instalarse la congestión, generada por los vehículos que se involucran en las zonas de congestión.



### Detección de situaciones de conflicto

A partir de las consideraciones anteriores, el proceso de detección de conflictos puede realizarse por observación de las visualizaciones dinámicas que ofrece el modelo.

Pudo detectarse lo siguiente:

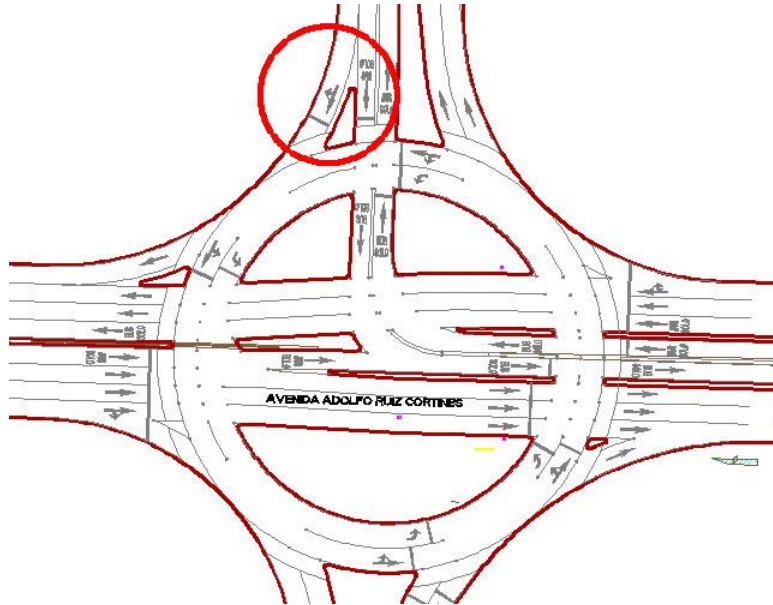
- Se presentan situaciones de conflicto en aquellos puntos donde la zona de espera para la realización de giros a la izquierda se realiza sobre la calzada principal, interrumpiendo el tránsito pasante.
- Dentro de este concepto se incluye los giros Oeste Norte y Este Sur en la intersección de Lincoln y Rangel Frías. Para solucionar esta situación se

incluyó una dársena de giro para realizar el movimiento Oeste Norte, y se propone la realización del giro Este Sur mediante la utilización del paso bajo nivel al norte de Lincoln, que permite acceder al cruce desde el norte por calle colectora y realizar la espera sobre esa vía.



- La intersección con Parque Poniente presenta una situación similar, donde uno de los tres carriles disponibles se presenta ocupado por los vehículos en espera. Si bien la situación aquí no es crítica, se propone la minimización de la presencia de vehículos en espera mediante la incentivación, por medio de señalización, de realizar la maniobra por la red urbana, como en los casos anteriores. (circuito Nueva Inglaterra, Jardín de Babilonia, Nueva Orleans)
- En la intersección de Rodrigo Gómez y Ruiz Cortines, el tránsito particular que se incorpora desde el norte dispone de solo un carril en su maniobra de aproximación.





No siendo factible agregar carriles adicionales (aumento de infraestructura) se sugiere derivar tránsito hacia otras vías (disminución de la demanda), ya que la relación volumen capacidad de este tramo aparece comprometida. Para ello se propone permitir el acceso a Ruiz Cortines desde la red urbana adyacente, lo que puede lograrse sin mayores problemas con un sistema adecuado de semaforización.







- El mismo concepto de derivación de tránsito para realizar el giro a la izquierda con apoyo en la red urbana se propone en la intersección de Ruiz Cortines y Edison. En este caso, se sugiere la prohibición de los giros ya que los sobre recorridos son cortos y la red se adapta a ellos sin inconvenientes.



### **Consideraciones complementarias**

Incorporándose a la solución las modificaciones anteriores, se logra un esquema que presenta una mejor utilización de la infraestructura disponible. Existen algunas consideraciones complementarias que deben ser tenidas en cuenta para una mejor interpretación del esquema funcional resultante:

- Respecto de la circulación de vehículos particulares, el sistema ha recibido una penalización por reducción en el número de carriles y restricciones en los movimientos, pero también recibe un importante beneficio al circular en



forma casi totalmente desagregada de los buses, lo que aumenta sensiblemente las condiciones de capacidad, confort y seguridad vial.

- Se ha demostrado que la presencia de sistemas BRT genera un importante incremento en la cantidad de usuarios de autotransporte de pasajeros, muchos de los cuales provienen de un cambio en el modo de transporte desde el automóvil. Ese cambio lleva implícito una disminución en la cantidad de vehículos que circula por el corredor. Sin embargo, para un análisis más conservador del escenario de proyecto, se ha mantenido la demanda de transporte privado sin disminución alguna.

Para ratificar estos conceptos, podemos decir que el National Bus Rapid Transit Institute (NBRTI) analiza constantemente los indicadores de funcionamiento de los sistemas BRT, generando estadísticas válidas respecto de los beneficios generados por la implementación de esta nueva forma de transporte público, detectando como principal beneficio el incremento del total de usuarios del transporte público, dado por el incremento de viajes realizado por el modo BRT.

Al igual que el sistema a instalar en el corredor Ruiz Cortines, la mayor parte de los sistemas BRT implementados en las ciudades latinoamericanas fueron diseñados para circular dentro de la red vial existente, de múltiples carriles, dentro de carriles exclusivos que conforman los corredores del BRT.

Respecto de la elección modal de transporte, las estadísticas indican que se detectó en alrededor de 14 sistemas BRT que **entre el 19 y el 33% del total de los pasajeros transportados se movilizaban en vehículos particulares antes de la implementación de estos sistemas**. En algunas ciudades se superaron estos valores, como en el North East Busway de Adelaide, Australia, donde el 40% de los viajes se realizaba en automóvil particular, y el máximo valor se registra en la Ciudad de Albuquerque, Nuevo Mexico (USA) en el sistema Rapid Ride, con un 68% del pasaje proveniente de modos privados motorizados.



---

En general puede establecerse que entre los datos recopilados de 56 sistemas BRT implementados en 17 ciudades se puede establecer el siguiente perfil:

- 28 sistemas BRT reportan incrementos del número de pasajeros de entre el 5 y el 35%
  - 4 sistemas BRT reportan incrementos del número de pasajeros de entre el 36 y el 75%
  - 6 sistemas BRT reportan incrementos del número de pasajeros mayores al 100%
- 
- La presencia del BRT y la disminución en la capacidad de la infraestructura destinada a los vehículos privados, produce en estos casos que muchos de los usuarios que realizan viajes pasantes por el área considerada y que dispongan de vías alternativas harán usos de ellas, disminuyendo la demanda de este tipo. Tampoco se ha hecho reducción en este sentido, ya que al ser esa derivación de tránsito difícil de estimar (se requieren modelos regionales como herramienta) se prefirió mantener las demandas sin modificación.
  - Del análisis de las condiciones de los picos AM y PM de demanda, surge el pico matutino como el más comprometido. El análisis que se presenta especifica los resultados del pico AM, que resultan de ese modo validos para el pico PM.
  - El análisis se realizó sobre un tramo representativo del total del corredor a desarrollar. Sin embargo se ha detectado en este tramo que la aparición de conflictos está asociada a los mismos fenómenos: limitaciones en los movimientos y ocupación de carriles en la espera para realizarlos en las zonas definidas a tal fin. Por lo tanto, la verificación de la efectividad de las soluciones propuestas puede hacerse extensiva al resto del corredor.
  - Los resultados emitidos en los puntos siguientes surgen del análisis de un periodo de pico, por lo tanto, las evaluaciones cuantitativas que resulten se expresan en términos de ese periodo específico considerado. Consideraciones complementarias podrán expandir esos valores a periodos mayores (diarios, mensuales, anuales), según se requiera en futuros estudios.
-



---

## ***Propuesta definitiva***

### **General**

La inclusión de las modificaciones indicadas anteriormente da como resultado el escenario correspondiente a la Propuesta definitiva.

Las condiciones generales permiten predecir a priori que la relación volumen capacidad en los tramos de circulación de vehículos particulares ha crecido, y por lo tanto, las condiciones de circulación resultan muy sensibles a las modificaciones que se realicen.

El primer análisis se realiza mediante la comparación de los indicadores de eficiencia del escenario correspondiente a la Línea de Base y a la Propuesta Definitiva. Se incluyen a continuación los resultados obtenidos, y en el Anexo se incluyen las planillas numéricas con los valores que dan origen a los gráficos descriptivos.

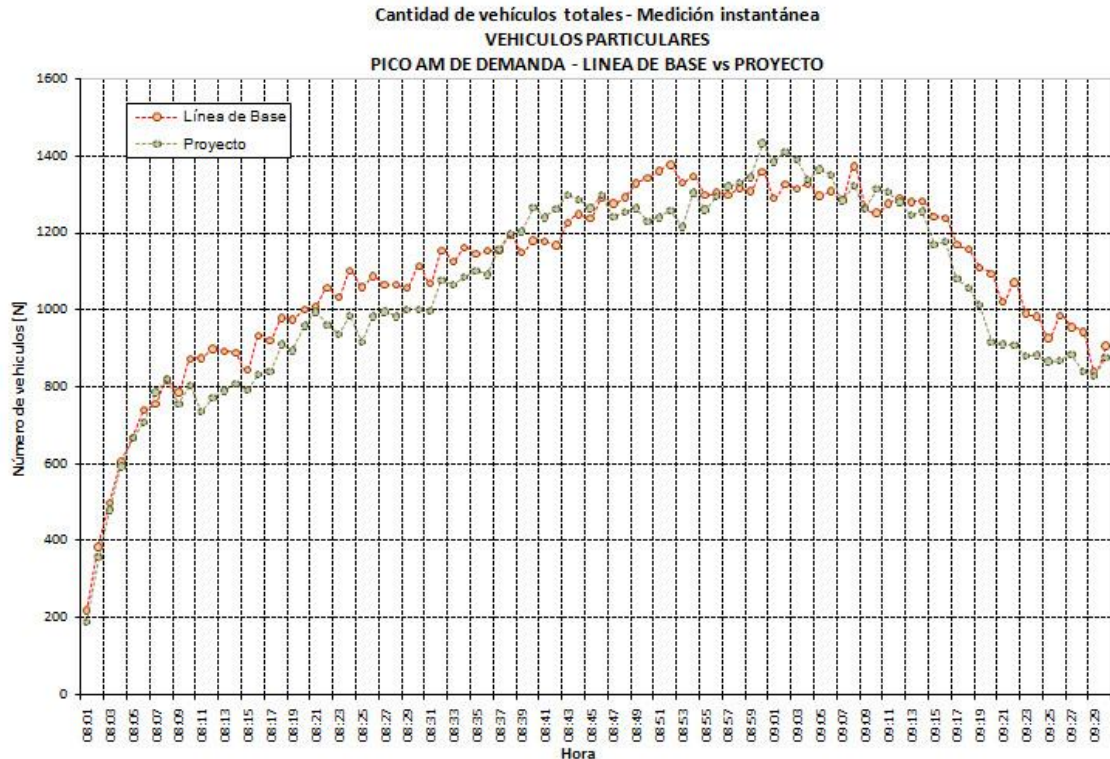
### **Cantidad de Vehículos – Medición Instantánea (Current All NV)**

Como se dijo, representa la cantidad de vehículos que se encuentran en el sector en estudio en forma simultánea en un instante determinado.

Para los vehículos particulares, puede verse que la situación se mantiene en condiciones equivalentes a las existentes en la Línea de Base.

Las modificaciones introducidas restituyen las condiciones de circulación y la estabilidad del sistema vial



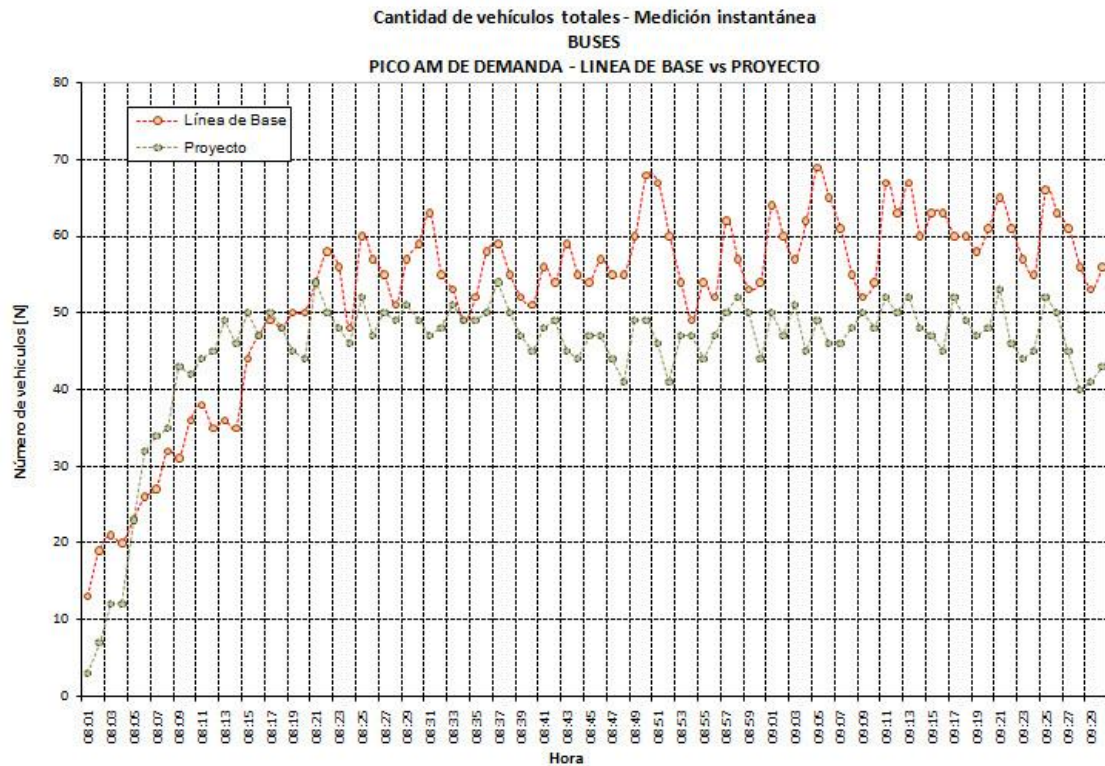


En ambos casos, tanto para la línea de base como para el proyecto, la cantidad de vehículos particulares retenidos en la red presenta una configuración análoga y se adecua al perfil de demanda definido. El máximo de vehículos se alcanza, en ambos casos, al final del período de mayor demanda y es del orden de los 1400 vehículos.

Los buses son los que reciben el mayor beneficio del proyecto. Como podemos ver, la cantidad de vehículos de autotransporte público en la red es menor, instante a instante, que la existente en la Línea de Base. Sin embargo, como se verá en el punto siguiente, la cantidad de vehículos totales incorporados a la red es mayor. Dado que los tiempos de detención para el ascenso y descenso de pasajeros se ha mantenido igual en ambos casos, lo anterior significa que los buses pueden hacer su recorrido de manera mucho más eficiente, ya que no son “retenidos” por la red y sus condiciones de circulación.



Aunque la cantidad de buses que se incorpora a la red es mayor en el escenario con proyecto que en la línea de base (ver punto siguiente). Esta situación representa una mejora en las condiciones operativas de los buses del orden del 15%, expresada en términos de la permanencia de cada bus en la red para cumplir con el recorrido previsto.



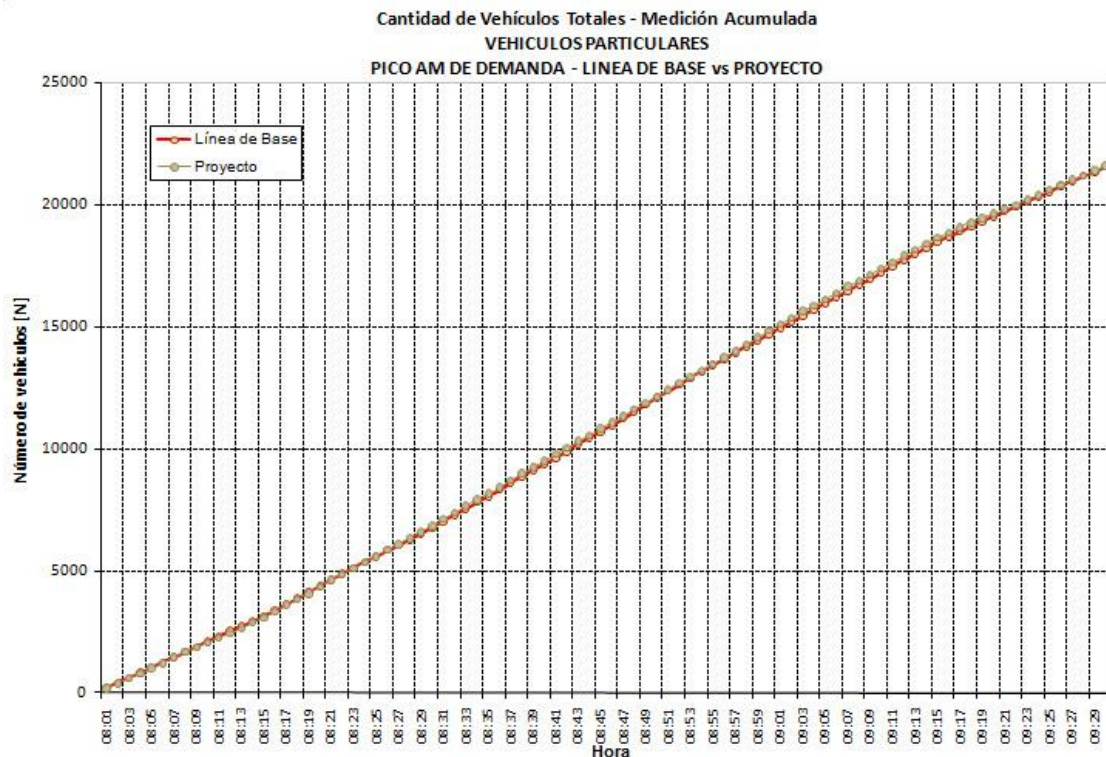
### **Cantidad de Vehículos – Medición Acumulada (Total All NV)**

Ya se dijo que este indicador muestra la cantidad de vehículos que en forma acumulada, han logrado ingresar en la red. A igualdad de demanda, las curvas de distintos escenarios deberían ser idénticas a excepción que se presenten casos donde la conflictividad de la red propaga sus efectos en una magnitud tal



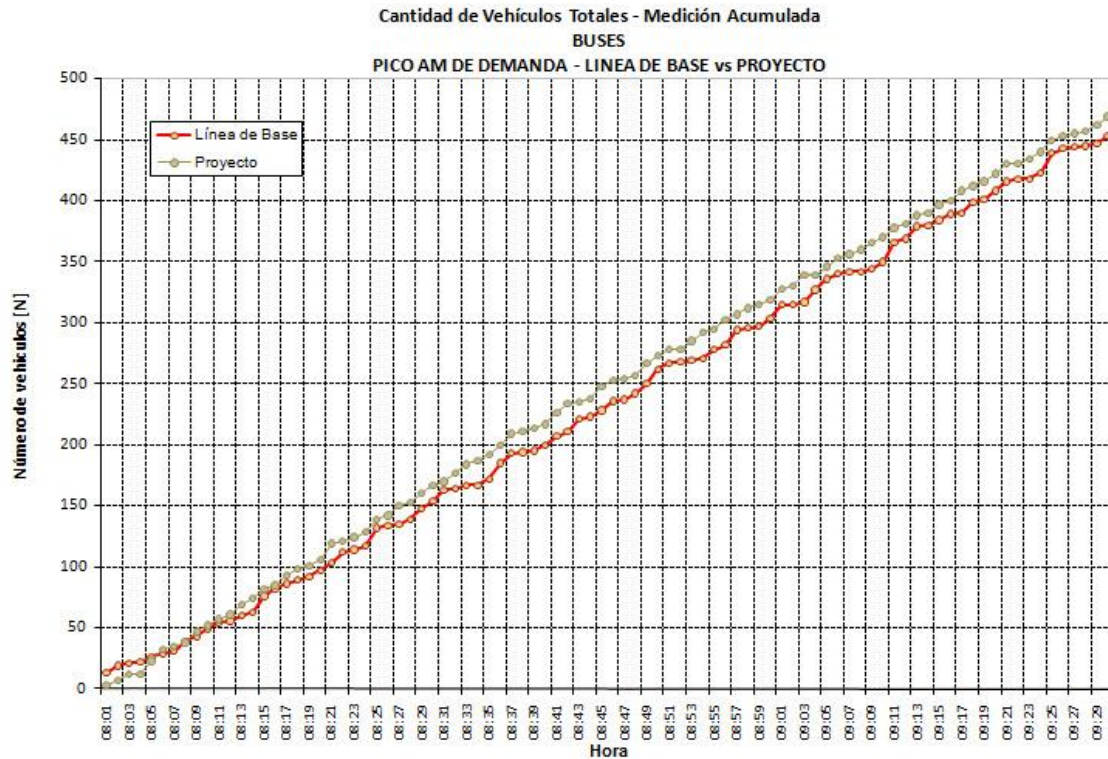
que se bloquean los links de acceso al modelo, impidiendo que se incorporen los nuevos vehículos generados.

Puede verse que, para los vehículos particulares en ambos escenarios han sido incorporadas idénticas condiciones de demanda, más allá de la distribución estocástica propia de este tipo de modelos, por lo que no se requieren comentarios adicionales



El esquema representativo de la cantidad de buses incorporados nos muestra el concepto complementario del punto anterior: la cantidad de vehículos que se incorporan a la red es mayor en el escenario que incluye el proyecto que en la Línea de Base.



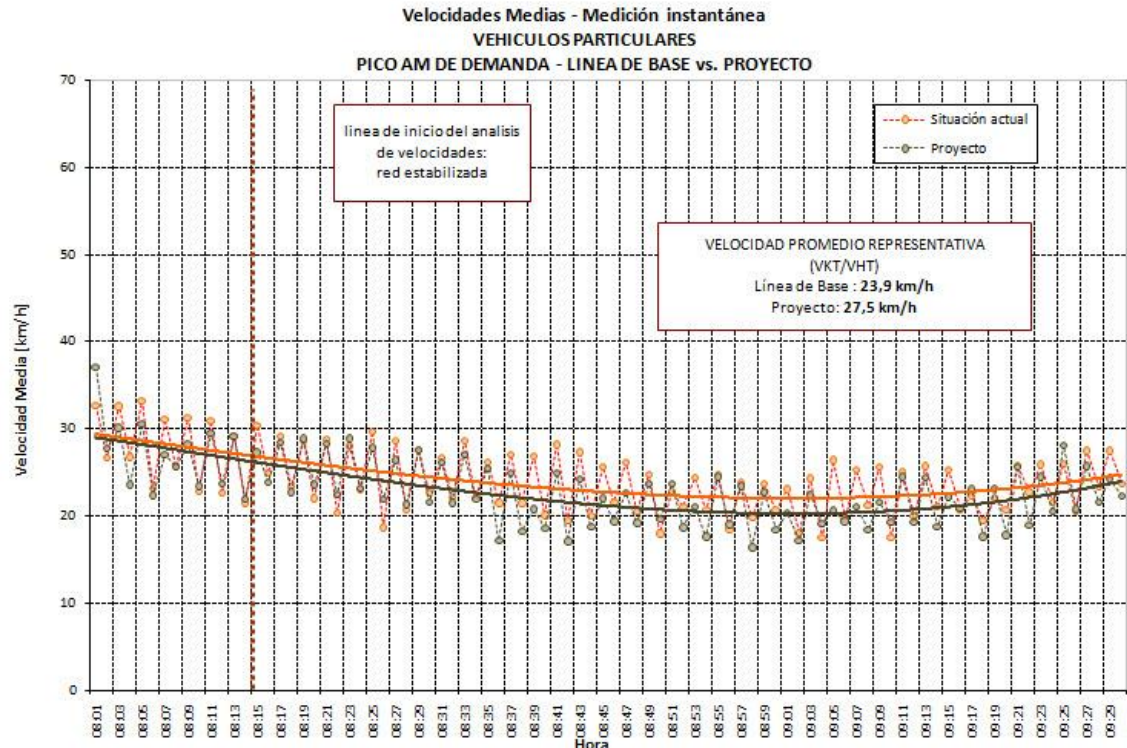


La mayor cantidad de buses que se incorpora surge de la definición de los cronogramas operativos que se definen, por lo que no puede extraerse una conclusión en forma aislada, sino que resulta, como se dijo, una condición complementaria del punto anterior.

### Velocidad media (Current All Mean Speed)

El gráfico muestra los valores obtenidos, en primera instancia para los vehículos particulares.

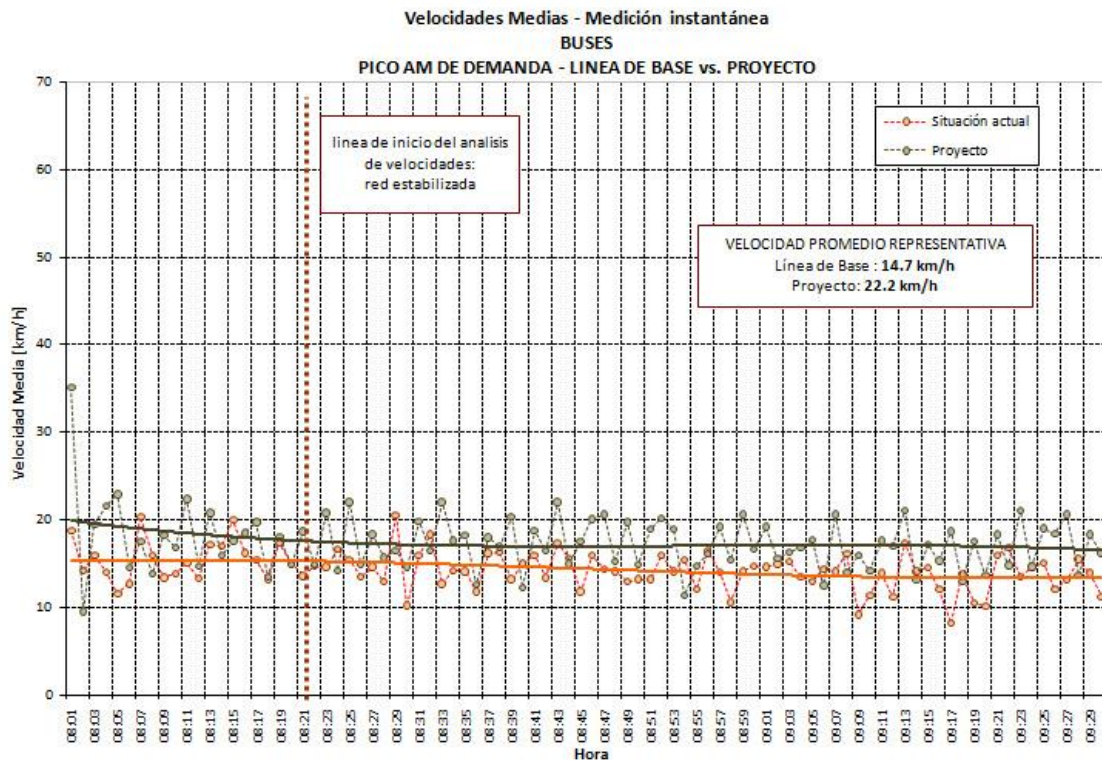




La velocidad media instantánea y sus variaciones, presentan líneas de tendencia muy similares para la línea de base y la del escenario con proyecto. Sin embargo la velocidad promedio expresada como cociente de VKT/VHT, muestra un valor superior para el último escenario. Esta situación debe ser analizada con cuidado ya que si bien permite descartar situaciones conflictivas, el aumento en la velocidad promedio puede deberse a los sobre recorridos que se realizan sobre la red urbana, que por presentar condiciones menos exigentes en cuanto a la demanda presente, permite velocidades mayores. Es por eso que la mayor velocidad media ratifica la falta de conflictos, pero no es indicador directo de mejoras en los tiempos de viaje.

La velocidad promedio representativa, expresada como cociente entre VKT/VHT, presenta un incremento del 7%. Estos valores por si mismos deben adoptarse como la manifestación de la falta de conflictos, pero no de menores tiempos de viaje.

Las velocidades medias de los buses queda descrita en el siguiente gráfico:



Puede verse una marcada mejora en las velocidades tanto en su medición instantánea como en al promedio representativo, a favor de la situación con proyecto.

Esto es reflejo directo de la existencia del corredor exclusivo de circulación de la mayor parte de los buses (el promedio incluye a los buses que no se incorporan al corredor).

Las velocidades operativas de los buses mejoran en un 51%. Este significativo incremento significa una mejor operatividad del sistema, un ahorro significativo en términos de horas de los usuarios y en un beneficio directo para la sociedad.



---

### **Cantidad de kilómetros vehículo recorridos (VKT)**

La cantidad de kilómetros vehículo totales recorridos presenta los resultados graficados más abajo.

Respecto de los vehículos particulares, la nueva configuración requiere un mayor recorrido para completar los viajes entre los orígenes y destinos definidos. Esto se debe a los sobre recorridos sobre la red urbana o sobre el propio corredor con retomes en los puntos disponibles.

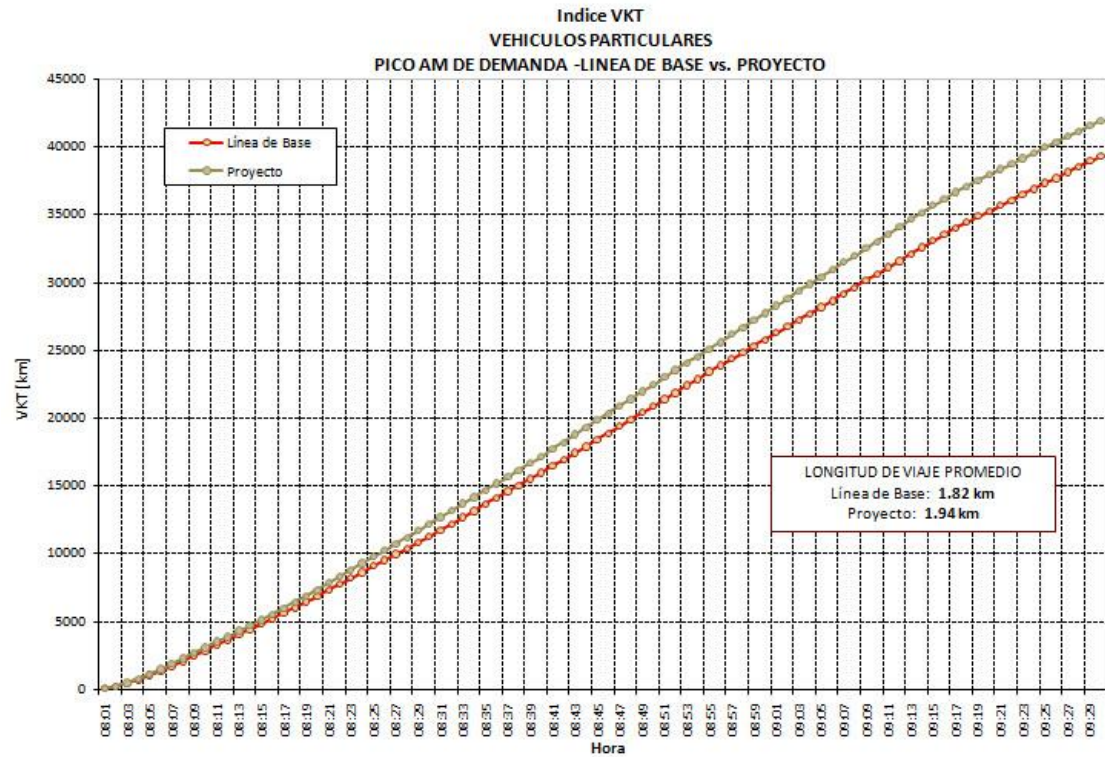
Los sobre recorridos generados por las restricciones geométricas que impone el corredor, implica que la longitud de los viajes promedio de los vehículos particulares (recorrido libre) se incremente un 6%.

Para los buses, el concepto es distinto ya que al ser de recorrido fijo, la mayor cantidad de kilómetros recorridos en el mismo periodo es sinónimo de una mayor eficiencia en el servicio, que redunda en un beneficio económico directo sobre usuarios y operadores.

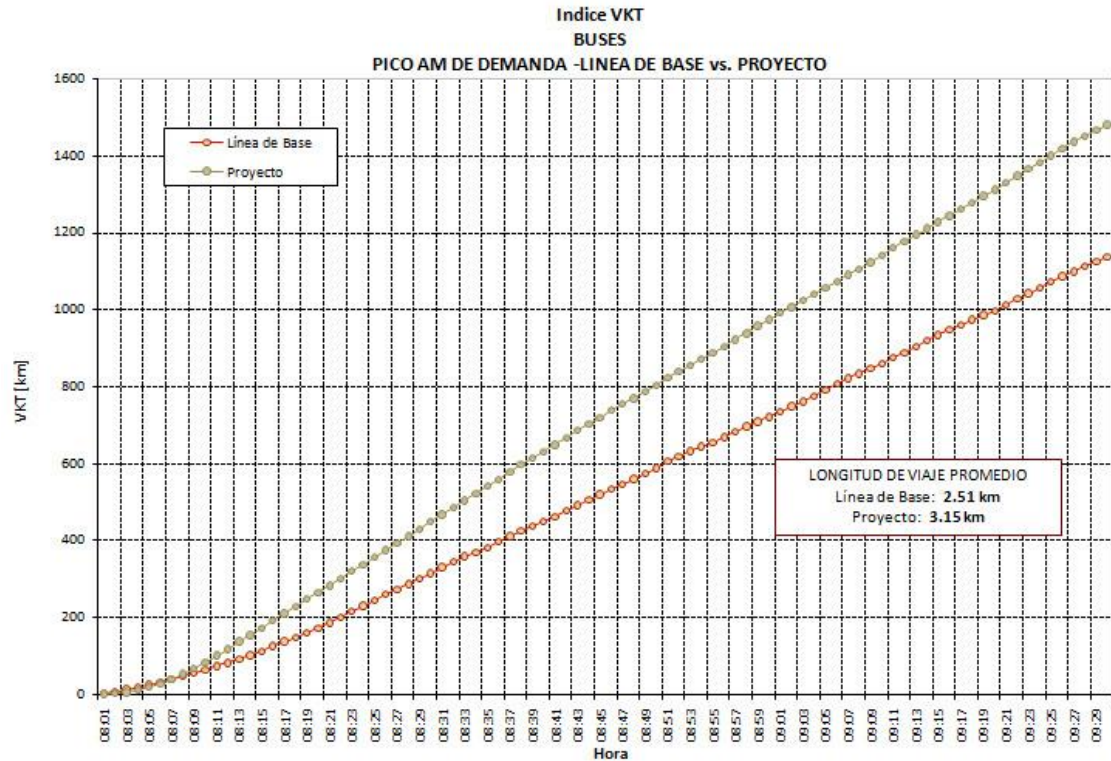
La mayor distancia recorrida por los buses (superior a los 300 km totales en la hora y media analizada), es reflejo directo de una mayor cobertura del servicio, la factibilidad de implementar frecuencias mayores y una mejor velocidad de operación.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



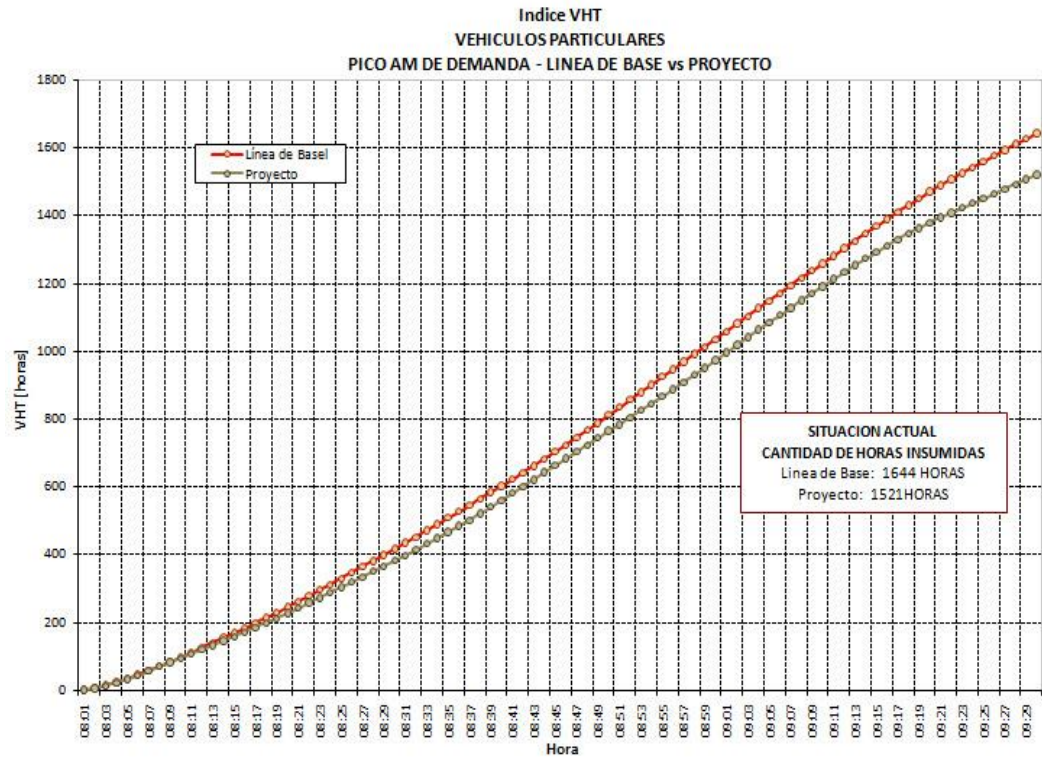




### Cantidad de horas vehículo insumidas (VHT)

Se trata de la cantidad de horas vehículo totales insumidas hasta un momento determinado, que han sido utilizadas en para la realización de los viajes establecidos según la matriz OD incluida en el modelo o por los recorridos y frecuencias fijados para los vehículos de transporte público.

Resulta uno de los indicadores más representativos, ya que al asignársele al tiempo el valor que surja del análisis correspondiente en términos monetarios, puede cuantificarse el beneficio económico obtenido en consideración directa de este factor.



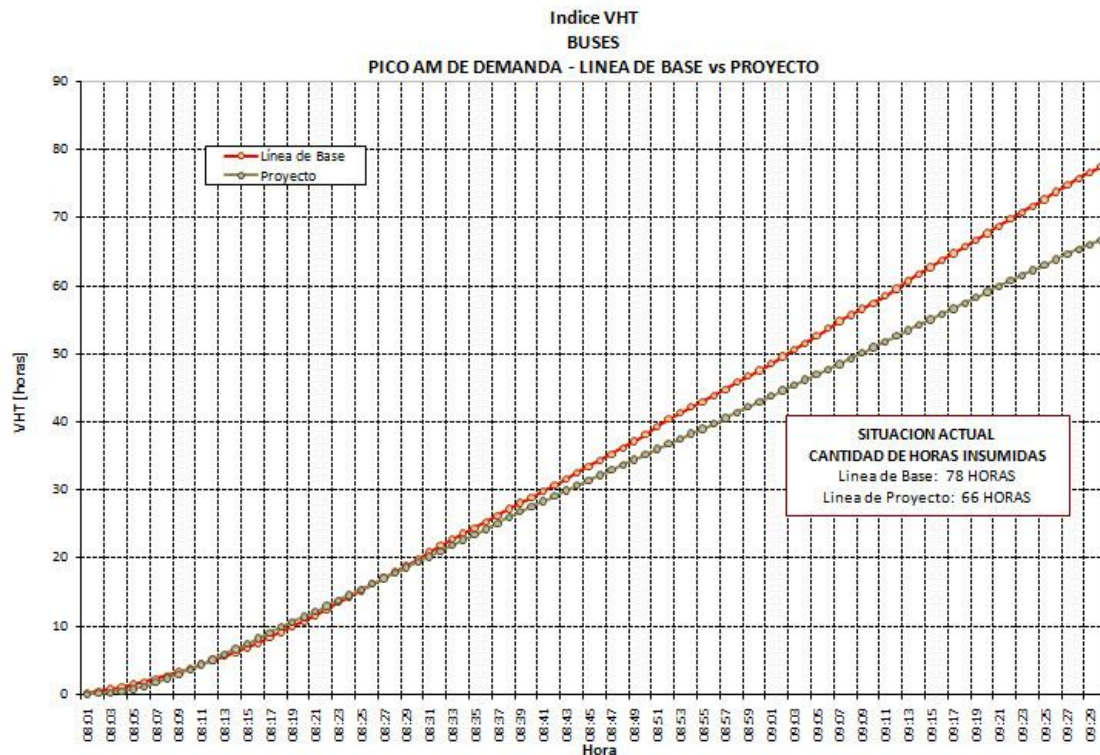
En ambos casos puede verse menor cantidad de horas insumidas totales en la concreción de los viajes previstos.

Para los vehículos particulares, la realización de la totalidad de los viajes definidos en la matriz OD para el periodo considerado recibe una disminución del 7%. Este fenómeno asocia directamente a la desagregación del transporte público de las zonas de circulación del transporte privado y de la menor cantidad de interferencias al minimizarse los puntos de cruce.

Se destaca la situación del transporte público, donde aun con una mayor cantidad de vehículos considerados y con mayores recorridos logrados, el tiempo total insumido es menor que en la situación correspondiente a la línea de base.



La operación de los buses reduce el tiempo total insumido en desarrollar los viajes planificados en un 15%, aun cuando la cantidad de viajes establecidos sea mayor.



## Otros parámetros comparativos

### General

Como complemento del análisis anterior, se incluyen los gráficos representativos de la formación de colas, densidad de tránsito y distribución de velocidades para buses, que permite una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

En todos los casos se muestran los gráficos obtenidos para el mismo periodo: un intervalo representativo incluido en el momento de máxima demanda.

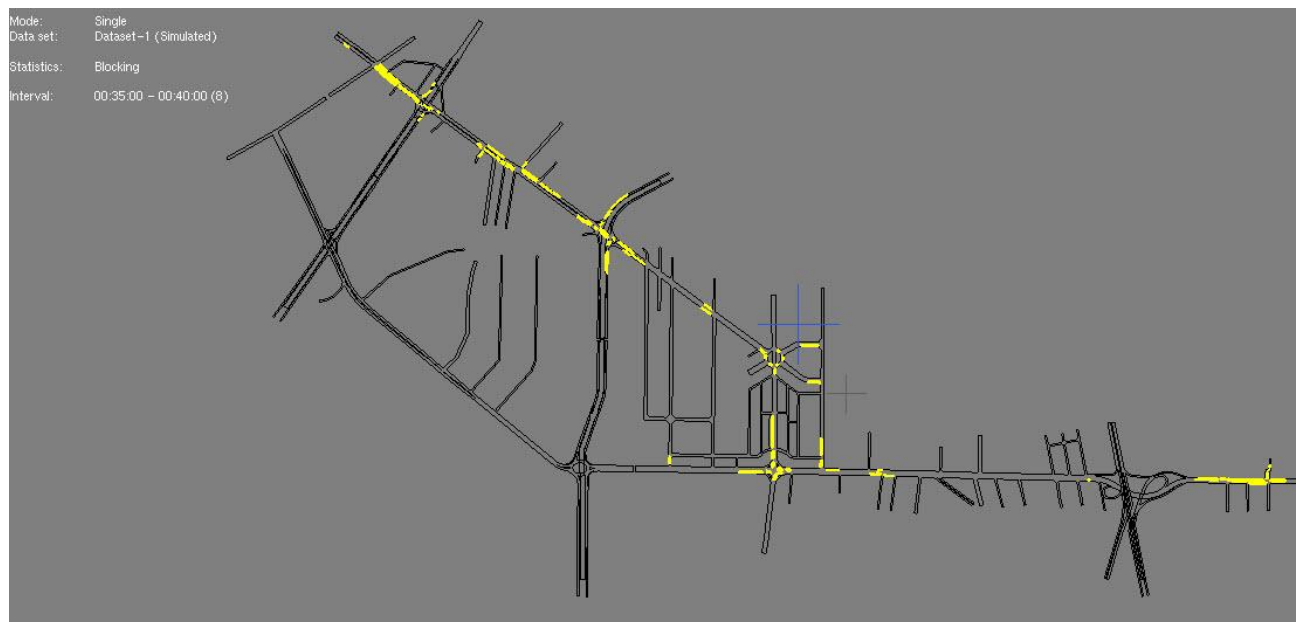


Lo que buscan los gráficos es dar a los indicadores de eficiencia enumerados anteriormente, una distribución espacial en la red estudiada, detectándose los sitios más comprometidos y los más alejados de las situaciones de conflicto

### ***Formación de cola***

Se incluyen los gráficos representativos de formación de cola para la Línea de Base y el Proyecto.

Se incluye la formación de ola en términos de vehículos totales. Pude notarse que si bien las condiciones de infraestructura, ordenamiento y desagregación de la red por tipo de vehículo son marcadamente distintas, los escenarios presentan situaciones similares en términos de formación de colas y acumulación de vehículos. Es importante destacar que el proyecto no tiene como objetivo el mejoramiento de las condiciones de circulación del tránsito de vehículos particulares, sino que busca implementar un sistema de transporte eficiente manteniendo las condiciones de circulación en similares o si es posible mejores niveles de servicio.



**Formación de colas – Línea de Base**



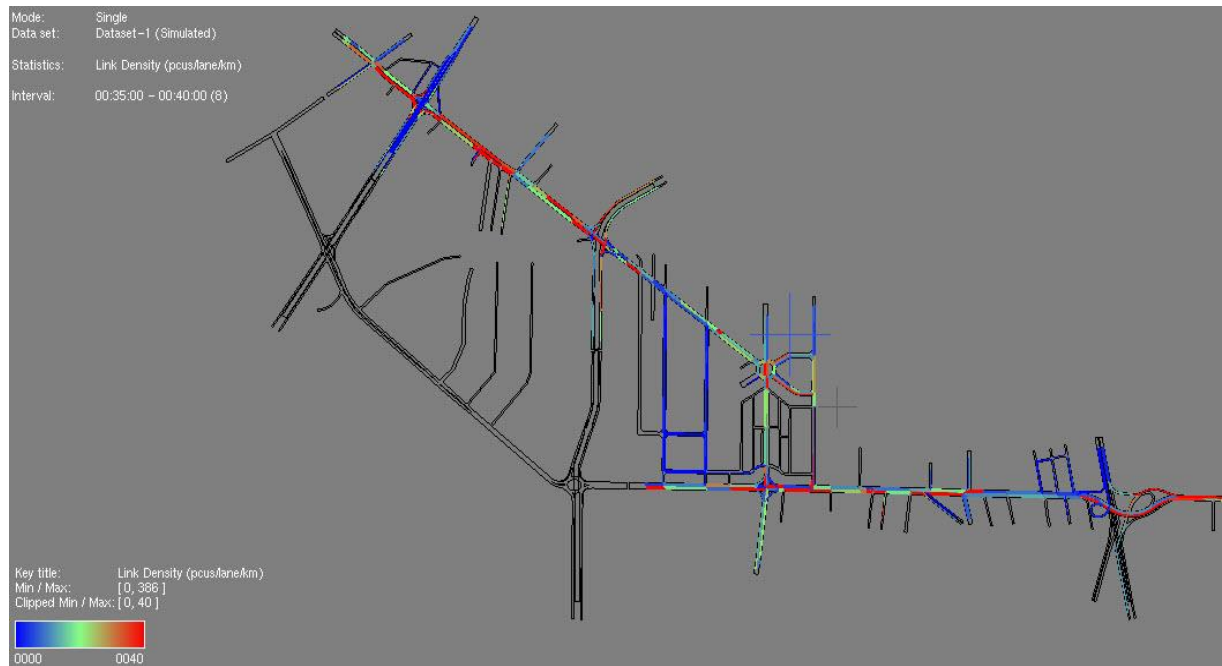


**Formación de colas – Proyecto**

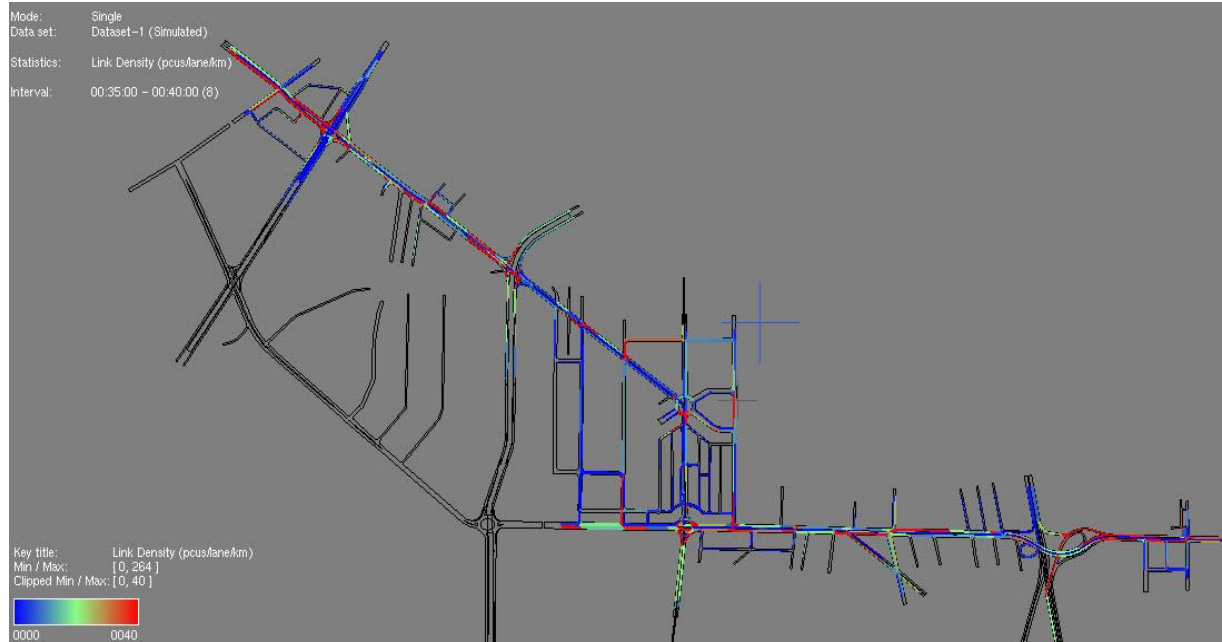


### *Densidades de Tránsito*

Los gráficos demostrativos de las densidades de tránsito son complementarios del grupo anterior. Conceptualmente expresan lo mismo, pero permiten visualizar cuan cercano o lejano a la formación de nuevas colas se encuentran los sectores no incluidos en los gráficos anteriores.



**Densidades – Línea de Base**

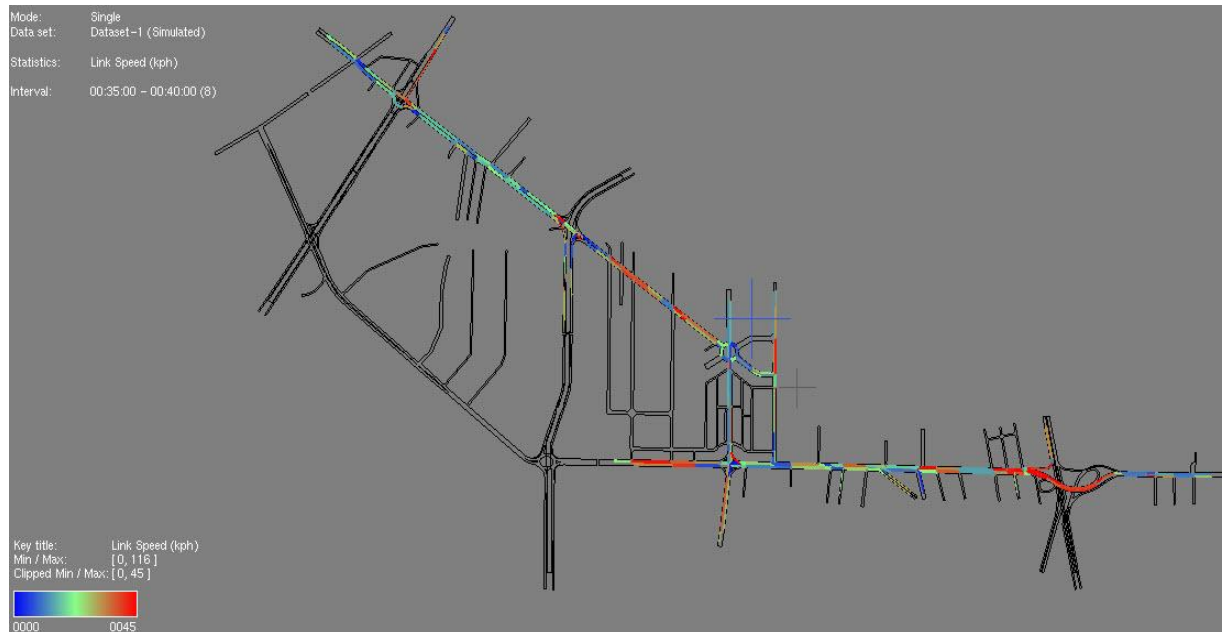


**Densidades – Línea de Base**



### *Distribución de velocidades*

Los gráficos de distribución de velocidades se han elaborado considerando en forma exclusiva a los vehículos de transporte público.



**Distribución de Velocidades - Buses – Línea de Base**





**Distribución de Velocidades - Buses – Proyecto**

La escala muestra en tonos de rojo las mayores velocidades. El gráfico muestra la sensible mejora del escenario con la inclusión del proyecto en toda su longitud.



---

## Conclusiones

- La implementación de sistemas de transporte del tipo BRT ha dado satisfactorias muestras de eficiencia en las grandes ciudades con importante demandas de movilidad diaria, densidades de infraestructura consolidadas y esquemas de tránsito que presentan situaciones de congestión recurrente. Esta descripción se adapta al área de implementación del BRT Ruiz Cortines.
- El proyecto busca la implementación de un medio masivo de transporte, de alta eficiencia, que pueda desarrollarse en los espacios físicos disponibles, que permita la modificación de la distribución de los componentes modales desde el vehículo particular al bus y que mantenga, y si es posible mejore, las condiciones de circulación de los vehículos particulares en niveles consistentes con los actuales. La cuantificación de los efectos obtenida mediante la modelización del escenario de proyecto permite predecir que esos objetivos serán alcanzados con la configuración propuesta.
- El proyecto obtiene mejoras significativas en los indicadores del transporte público. Las velocidades operativas aumentan (51%), se logra un aumento del indicador VKT y una disminución del indicador VHT en forma simultánea. Todo esto redundará en mejores condiciones de servicio, posibilidad de incrementar la frecuencia de los buses, mayores coberturas en términos geográficos, y por lo tanto un beneficio económico importante para los usuarios y los operadores del sistema.
- Respecto del tránsito de vehículos particulares, se incluyen modificaciones “de distinto signo”. Por un lado se incorporan limitaciones en la movilidad, reducción de calzada, y sobre recorridos. Por otro, se incorporan una menor presencia de cruces e interferencias y se desagrega mayoritariamente el tránsito de buses. Como evaluación cuantitativa y cualitativa de estas acciones combinadas, puede decirse que las condiciones de circulación del transporte particular podrán mantenerse en términos similares a las actuales, en términos de formaciones de cola, tiempos de viaje y velocidades medias.
- La situación anterior se da aún sin considerar el tránsito que se deriva de las zonas donde se implementa este tipo de proyecto y la modificación en la asignación de modos de transporte, que traslada usuarios del automóvil



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**INSTITUTO DE INGENIERÍA CIVIL**



---

particular a los buses al presentarse mejores condiciones en este último. Sin embargo, resulta conveniente no considerar esta disminución para compensar el eventual crecimiento vegetativo del parque automotor que puede darse en los próximos años, cuya predicción excede el alcance del presente estudio.