

ANALISIS DEL IMPACTO EN EL TRÁFICO OCASIONADO POR REDUCCIONES EN LA CAPACIDAD DE UNA VIA

MARIO ALBERTO SEGURA RODRIGUEZ

Ingeniero Civil



FUNDACION UNIVERSIDAD DEL NORTE

JESUS FERRO BAYONA

Rector

JAVIER PAEZ

Decano División de ingenierías

LUIS FUENTES

Director del Dpto. de Ingeniería Civil y Ambiental.

Barranquilla, Mayo de 2015

© 2015, Mario Alberto Segura Rodríguez

ANALISIS DEL IMPACTO EN EL TRÁFICO OCASIONADA POR REDUCCIONES EN LA CAPACIDAD DE UNA VIA

Por

MARIO ALBERTO SEGURA RODRIGUEZ

Ingeniero Civil

Director de la tesis

Julián Arellana Ochoa, PhD

Presentado al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Como requisito parcial para optar al título de

Maestría en Ingeniería Civil en la

Fundación Universidad del Norte

Barranquilla, junio de 2015

AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de Tesis va dedicado a todas las personas que me han apoyado para lograr este importante objetivo de mi carrera profesional. A mis padres y mi hermano que son mi polo a tierra, mis hermosas hija y esposa quienes me impulsan a superarme cada día, a mi tutor y amigo Julián quien fue un pilar fundamental para cumplir con los objetivos y enfocarme en esta investigación y finalmente a mis tíos, especialmente a Luchín, quien me inspiro a estudiar esta hermosa carrera de Ingeniería.

RESUMEN

El desarrollo y crecimiento del tráfico en las ciudades ha conllevado a la necesidad de realizar mantenimiento y ampliación de vías existentes en busca de ampliar su capacidad. Estas intervenciones generan reducciones en la capacidad durante su ejecución impactando de manera negativa la movilidad y el medio ambiente. Se requiere desarrollar herramientas para evaluar y predecir los impactos asociados a la configuración de estos cierres viales, que permita realizar apropiados planes de manejo de tránsito.

En la presente investigación se estudian los impactos sobre el tráfico y el medio ambiente que se generan por obras donde es necesario cerrar parcialmente alguno de sus carriles. Los impactos estudiados son: demoras, colas y aumento en el consumo de combustible y emisiones de gases sobre calzadas de un sentido con dos (2) o tres (3) carriles. Como premisas para el desarrollo de la investigación se consideró que las vías a analizar no tenían rutas alternas ni salidas y que poseían características de arteria urbana.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó un software de micro-simulación que permitió evaluar diversos escenarios y realizar análisis de sensibilidad en variables como la geometría de los cierres y las características del flujo vehicular. El software se calibró utilizando mediciones sobre una vía arteria de la ciudad de Barranquilla donde se encontraban realizando obras de mantenimiento que implicaban tener un carril cerrado. Como resultado de la calibración, se pudo replicar los efectos observados sobre el tráfico cuando se configuraba el modelo con la reducción de la capacidad y el flujo presente durante las mediciones.

Mediante técnicas econométricas se estimaron modelos que permiten evaluar los impactos para distintos escenarios de cierre de carriles. Los resultados sugieren que los indicadores de gestión vial se deterioran ante mayores restricciones de velocidad y capacidad impuestas por la configuración del cierre vial; sin embargo, es posible minimizar dichos efectos sobre el tráfico cuando se configura adecuadamente la geometría del cierre vial.

PALABRAS CLAVES: *Cuello de botella, micro-simulación, demoras, colas, emisiones*

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	10
1.1	Objetivos	11
1.2	Hipótesis.....	11
1.3	Contribuciones	12
1.4	Estructura y contenido	12
2	MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.1	Herramientas de modelación para análisis de transporte	16
2.1.1	Modelos de micro simulación	19
2.1.1.1	Modelos de seguimiento vehicular	20
2.1.1.2	Modelo de cambio de carril	21
2.1.2	Software disponible para micro-simulación.....	22
2.1.3	Descripción de los modelos utilizados por Vissim.....	23
2.1.3.1	Modelo de seguimiento vehicular.....	23
2.1.3.2	Movimiento lateral de los vehículos.	26
	□ Selección de carril	26
	□ Cambio de carril	27
	□ Movimiento lateral continuo	28
3	METODOLOGIA DEL ESTUDIO	29
3.1	Toma de datos de campo.....	30
3.1.1	Características geométricas y operativas de la vía en estudio.....	30
3.1.1.1	Estado del pavimento.....	32
3.1.2	Señalización	33
3.1.3	Aforos vehiculares.....	35
3.1.3.1	Composición Vehicular.....	40
3.1.4	Indicadores de gestión y comportamiento.....	41
3.1.4.1	Velocidades	42
3.1.4.2	Demoras y colas.....	45

3.1.4.3	Información de tiempos de viaje.....	49
3.2	Construcción y calibración del modelo.....	50
3.2.1	Desarrollo del modelo base	51
3.3	Diseño y desarrollo del experimento	58
4	RESULTADOS.....	62
4.1	Estimación del modelo de capacidad.....	62
4.2	Modelos para demoras y colas	63
4.2.1	Demoras	64
	S.....	64
4.2.2	Colas promedio	67
4.2.3	Modelos de consumo adicional de combustible y generación de emisiones	
	70	
5	CONCLUSIONES.....	74
6	BIBLIOGRAFIA.....	76
	ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquía de los modelos de transporte.....	18
Figura 2. Modelos para zonas de trabajo.	19
Figura 3. Lógica para el modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann 74	24
Figura 4. Zona de trabajos en la Avenida Circunvalar	30
Figura 5. Esquema de la configuración geométrica en el cierre de carril.....	31
Figura 6. Foto del cierre del carril derecho sobre la circunvalar	31
Figura 7. Sección transversal típica Avenida Circunvalar entre carrera 46 y 51B	32
Figura 8. Placas deterioradas sobre la Avenida Circunvalar.....	32
Figura 9. Estado pavimento (capas de asfalto) Avenida Circunvalar entre carrera 46 y 51B...	33
Figura 10. Esquema de señalización para obra en el sitio	34
Figura 11. Estado señalización horizontal	34
Figura 12. Esquema de ubicación de los puntos de aforo.....	35
Figura 13. Lugar toma de datos sobre la Avenida Circunvalar	36
Figura 14. Lugar de toma de datos sobre el enlace con la Circunvalar	37
Figura 15. Ubicación lugar de aforo. Ramal 51B-Circunvalar.....	38
Figura 16. Porcentaje de vehículo por clase	40
Figura 17. Histograma de frecuencias para velocidades de buses	43
Figura 18. Histograma de frecuencia para velocidades en autos.	44
Figura 19. Histograma de frecuencia para velocidad de motocicletas.....	44
Figura 20. Histograma de frecuencias para camiones	45
Figura 21. Graficas de perfil de velocidad para técnica del vehículo flotante.....	50
Figura 22. Geometría del modelo construido en Vissim®.....	51
Figura 23. Modelación del cierre de carril en Vissim®	52
Figura 24. Áreas de reducción de velocidad modeladas en la calibración del modelo	52
Figura 25. Grafica comparación velocidad-espacio. Modelo vs datos de campo.....	56
Figura 26. Atributos usados en el diseño de experimentos.....	59
Figura 27. Pantalla de modelación para estimación de la capacidad en un cierre 3: 1	62

Figura 28. Demoras para un cierre 2:1 Modelo Tipo BPR	65
Figura 29. Demoras para un cierre 3:1-Modelo Tipo BPR	66
Figura 30. Demoras para un cierre 3:2 – Modelo Tipo BPR	66
Figura 31. Colas para un cierre 2:1 - Modelo Tipo BPR	68
Figura 32. Colas para un cierre 3:1 – Modelo Tipo BPR	68
Figura 33. Colas para un cierre 3:2 – Modelo tipo BPR.....	69
Figura 34. Grafica de regresión para modelo lineal de %aumento de emisiones	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los modelos de seguimiento vehicular.....	21
Tabla 2. Software de Microsimulación disponibles en la actualidad (Elaboración propia).....	22
Tabla 3. Resumen Aforos sobre Avenida Circunvalar	36
Tabla 4. Resumen aforos de conteos sobre la oreja hacia la Circunvalar.	37
Tabla 5. Aforo realizado en el ramal que va de la Carrera 51B hacia la Circunvalar.	38
Tabla 6. Aforo realizado en el ramal de salida hacia la Carrera 46	39
Tabla 7. Aforo Avenida Circunvalar debajo del puente de la 51B	40
Tabla 8. Factores de equivalencia para distintos tipos de vehículos.....	41
Tabla 9. Datos estadísticos para tomas de velocidad	42
Tabla 10. Datos obtenidos para estimación de demoras	46
Tabla 11. Resumen de datos estadísticos para las demoras	47
Tabla 12. Datos de campo para la estimación de colas.....	48
Tabla 13. Resumen estadístico para los datos de colas.....	49
Tabla 14. Resumen de volúmenes vehiculares en los puntos de aforo.	53
Tabla 15. Cálculo del GEH para los distintos modelos durante el proceso de calibración.....	55
Tabla 16. Resumen estadístico de datos de demoras arrojados por el modelo seleccionado....	57
Tabla 17. Resumen de estadísticas para los datos de colas arrojadas por el modelo.....	57
Tabla 18. Comparación de colas y demoras del modelo vs medidas de campo.	58
Tabla 19. Valores asignados a los niveles para las distintas variables dentro del experimento .	61
Tabla 20. Regresión de los valores para estimación de la capacidad.....	63
Tabla 21. Valores de capacidad para diferentes configuraciones de cierre	63
Tabla 22. Modelos de demoras de acuerdo con los datos de micro-simulación	64
Tabla 23. Modelos de cola promedio de acuerdo con los datos de micro-simulación.....	67
Tabla 24. Longitud L1 requerida para garantizar un nivel de Servicio en un cierre 2:1	69
Tabla 25. Longitud L1 requerida para garantizar un nivel de Servicio en un cierre 3:1	70
Tabla 26. Longitud L1 requerida para garantizar un nivel de Servicio en un cierre 3:2	70
Tabla 27. Modelo para porcentaje de aumento de NOx, CO, COV y combustible	72
Tabla 28. Modelo de aumento en las emisiones y en consumo de combustible.....	73

1 INTRODUCCIÓN

La densificación de las ciudades ha causado un crecimiento exponencial del parque vehicular. Este crecimiento genera la necesidad de que el gobierno invierta constantemente en mejorar y aumentar la oferta en cuanto a capacidad vial, y realizar labores de mantenimiento. Al mismo tiempo, las obras ocasionan inconvenientes en la movilidad durante su ejecución y se convierten en todo un reto de logística y planificación en zonas con alta densidad de tráfico y comercio. Desde la ingeniería de vías y transportes es importante buscar herramientas y soluciones racionales y analíticas que permitan minimizar los impactos que estas obras generen sobre la movilidad y el medio ambiente.

Mediante la presente investigación se busca analizar los efectos que tienen los cierres de carriles en vías de dos y tres carriles, sobre los indicadores de gestión y variables medioambientales como emisiones de gases y consumo de combustibles. En la literatura y normativa local solo se encuentran esquemas en cuanto a la señalización de los sitios en obra, pero no abordan los temas en cuanto a los efectos sobre la movilidad, como por ejemplo el efecto sobre los tiempos adicionales de viaje (demoras) o sobre las colas que se generan. Debido a lo anterior es importante abordar el tema de racionalizar las recomendaciones para señalizar y organizar sitios en obra basados en el volumen y tipología vehicular y las características de la vía a intervenir.

Para la generación de los distintos escenarios que permiten realizar el análisis de las variables, se utilizó un software de micro-simulación Vissim®, mediante el cual es posible representar los efectos de variaciones en volumen vehicular, tipología de vehículos, configuraciones geométricas de la vía y sobre todo permite representar el comportamiento de los conductores locales. El software proporciona datos que permiten el cálculo de los efectos macroscópicos como colas y demoras. Adicionalmente, Vissim® cuenta con un módulo que permite calcular el gasto de combustible y emisiones generadas por los vehículos dentro del modelo.

La calibración del modelo se realizó mediante la obtención de datos en un sitio con características vía principal donde existía un cierre de un carril de dos existentes y se

presentaban colas lo que era indicación de una vialidad excedida en capacidad. En campo se midieron variables microscópicas como la distancia entre vehículos, velocidades punto, variables microscópicas como demoras y colas y se realizaron aforos para determinar los volúmenes y tipologías vehiculares.

Resultado del análisis de los datos obtenidos para los diferentes escenarios se generaron modelos matemáticos que permiten estimar los efectos que los cierres viales pueden generar sobre el comportamiento del tráfico y el medio ambiente. Con estos modelos es posible tomar decisiones a nivel de planificación de manera que se puedan optimizar las medidas a implementar en obras viales.

1.1 Objetivos

La investigación pretende realizar recomendaciones para una adecuada operación del tráfico a partir del análisis de diferentes escenarios de volumen vehicular e infraestructura física instalada, cuando se produce una reducción de la capacidad de una vía mediante un modelo de micro-simulación. Para lograr el objetivo ha sido necesario:

- Analizar la influencia de la reducción de la capacidad debido al cierre de carriles por obras, en los indicadores de gestión vial como son colas y demoras.
- Identificar los factores más influyentes dentro del proceso de calibración y desarrollo del modelo de micro simulación.
- Obtener un modelo que permita calcular el valor de la capacidad vial basado en las variables que definen el flujo vehicular y la configuración geométrica y operacional del cuello de botella generado por el cierre de carriles debido a obras.
- Determinar modelos para predecir el impacto ambiental que genera la configuración de las reducciones de carril temporal debido a obras viales, a partir del análisis de los consumos de combustible y emisiones de gases

1.2 Hipótesis

Para la investigación se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Es posible, mediante modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril determinar

indicadores de gestión que evalúen el impacto de tramos de vías en obras, sobre el flujo vehicular.

2. No se considera el efecto de las motocicletas en el análisis del flujo vehicular debido al comportamiento complejo de este tipo de vehículo.
3. Los vehículos respetan la señalización vertical y horizontal instalada en los tramos en obras.
4. No existen ramales de entrada o salida de vehículos en las inmediaciones de la zona en obras.
5. Los vehículos se comportan de acuerdo con el modelo psico-físico de seguimiento vehicular desarrollado por Wiedermann y Reiter (1970) y de cambio de carril desarrollado por Willmann (1978) y Sparmann (1978).

1.3 Contribuciones

Mediante la presente investigación se profundizará en el conocimiento del impacto que tienen distintas configuraciones de reducción de capacidad en una vía generados por obras viales, sobre indicadores de gestión como capacidad, colas y demoras. Además se determinará el impacto ambiental que genera la configuración de estas reducciones, a partir del análisis de los consumos de combustible y emisiones de gases.

Por último, se espera generaran gráficas y tablas que permitan evaluar los impactos de los cierres viales sobre la movilidad y mediante las cuales se puedan tomar decisiones que ayuden a optimizar la disposición en campo de la señalización de obra y mejorar los planes de manejo de tráfico (PMT).

1.4 Estructura y contenido

El documento se ha organizado de manera que se con la lectura de sus capítulos iniciales, se logre adquirir los conocimientos que permita comprender los fundamentos que se utilizaron para los distintos análisis y modelaciones. Como primera medida se realiza una revisión bibliográfica que abarca desde trabajos investigaciones similares realizados hasta un resumen de los principales modelos de simulación. Posteriormente se detallan los trabajos de campo realizados

con una descripción de las variables escogidas que inciden dentro del estudio, se realiza la calibración y corridas del modelo para obtener los resultados y distintos modelos matemáticos que permiten analizar los escenarios que se presentan y los efectos en las variables macro y micro. Finalmente se presentan las conclusiones y se dan recomendaciones para futuras investigaciones.

2 MARCO CONCEPTUAL

Un “cuello de botella” es definido como “un elemento vial en el cual la demanda excede la capacidad” (FHWA, 2000). Su efecto sobre el comportamiento del flujo vehicular ha sido estudiado principalmente desde dos perspectivas que se basan en el análisis de mediciones realizadas en campo. La primera perspectiva está dirigida a determinar la reducción de la capacidad de las vías cuando existen zonas de trabajo mediante mediciones de campo, caso en el cual para determinar la capacidad en el cuello de botella, el enfoque se centra en determinar la localización de los puntos de observación y toma de datos para medir la capacidad, y en obtener relaciones entre las capacidades observadas y las características de las zonas en estudio (Chatterjee, 2008). La segunda perspectiva está relacionada con los intentos por replicar las observaciones de campo a través de modelos computacionales, los cuales se han vuelto de uso común debido a los avances en informática y la mejora en la potencia de los equipos.

Dentro de los autores que han estudiado el fenómeno de la disminución de capacidad en las vías a partir de estudios de campo cuando existen cuellos de botella, se destaca el trabajo de Hurdle y Datta (1983), quienes definieron que la capacidad en cuellos de botella corresponde al flujo promedio a través de la reducción en un sistema con presencia de colas aguas arriba. Entretanto, Krammes y Lopez (1994), basados en los resultados del análisis de 33 vías con obras, concluyeron que la capacidad base para cualquier configuración de cierre puede definirse como 1600 veh/hora/carril, en tanto que Dixon et al. (1996) recomendaron valores de capacidad de 1200 veh/h/carril en zonas rurales y 1500 veh/h/carril en zonas urbanas para reducciones de 2 carriles a 1 carril. También concluyeron que la mejor ubicación para medir la capacidad del cuello de botella es al final de la zona de transición.

Benekohal et al. (2004), desarrollaron una metodología y obtuvieron un modelo que relaciona la velocidad y la capacidad en vías cuando existen cuellos de botella y una serie de atributos relacionados con las causas de la reducción y la infraestructura existente. Los principales factores que se identificaron como causantes de la disminución en la velocidad y por ende de la capacidad, fueron la intensidad de las obras, el ancho de carriles, y el ancho libre lateral. Por su

parte, Sarasua et al. (2004) analizaron 22 sitios con trabajos viales de lo cual obtuvieron un modelo para estimar la capacidad de una vía con la presencia de un cuello de botella. El modelo estima que la capacidad en vehículos equivalentes puede obtenerse ajustando una capacidad base de 1460 veh- eq/hora/carril, mediante factores de vehículos pesados sobre la vía, número de carriles disponibles en el cierre, y otro factor de ajuste I que es consecuencia de las condiciones físicas y de la intensidad de la zona en obra. El *Highway Capacity Manual -HCM* utiliza un modelo muy similar para estimar la capacidad pero toma 1600 veh-eq/h/carril como capacidad base y lo afectan por un factor de ajuste relacionado a la presencia de rampas. También sugieren que una mala disposición de los dispositivos para acomodar los movimientos de convergencia en un cierre de carril puede afectar de manera adversa la capacidad del segmento, debido al incremento en la fricción y a la turbulencia. Sin embargo, no presentan la cuantificación del efecto sobre la capacidad de la posición de los dispositivos que permiten acomodar los movimientos de convergencia.

La segunda perspectiva de estudios, quizás ha tenido mayor desarrollo debido a la dificultad económica y de tiempo que sobrepone realizar continuamente mediciones de campo para representar los fenómenos e impactos producidos por diferentes configuraciones de los cuellos de botella. Lo anterior, ha ocasionado que los ingenieros e investigadores se vuelquen hacia herramientas informáticas que permitan simular diferentes configuraciones de cuello de botella, evaluando múltiples escenarios en un menor tiempo y con menor utilización de recursos.

Memcott y Dudek (1984), desarrollaron el programa QUEWZ, el cual fue concebido para calcular las colas y costos adicionales de los usuarios resultantes de los cierres de carriles en una o dos direcciones. Este modelo fue diseñado especialmente para condiciones de autopistas y considera que sobre la vía circulan solo dos tipos de vehículos: carros y camiones.

Kim et al. (2001) estudiaron diferentes factores que contribuyen a la disminución de la capacidad en zonas de trabajo y sugirieron una nueva metodología para su estimación. Ellos propusieron utilizar un modelo de regresión múltiple para relacionar la capacidad con los factores de la vía que contribuyen a reducirla. Los factores que consideraron en el modelo fueron el número de carriles cerrados, la proporción de vehículos pesados, las pendientes y la intensidad

de trabajo en la obra. Finalmente, usando datos de validación, compararon los resultados de su modelo de regresión con otros modelos como el QUEWS y el Quick Zone obteniendo que las predicciones de su modelo fueron aceptables.

Gomes et al. (2004), presentaron un procedimiento para construir y calibrar un modelo que permita analizar cuellos de botella sobre una autopista usando el software de micro simulación VISSIM, concluyendo que si se realiza una adecuada selección de parámetros de calibración, el software es capaz de representar situaciones donde se presenten interacciones complejas.

Khanta (2008), evaluó los *software* de modelación: QUEWZ, Quick Zone, CORSIM y VISSIM, para determinar si estos producían estimativos razonables de los impactos en zonas de trabajo. El análisis determinó que todos los softwares presentan resultados aceptables; sin embargo, recomienda usar CORSIM o VISSIM para planificar estrategias complejas en el cierre de vías, debido a su adaptabilidad a redes complejas y al uso de los más avanzados sistemas de manejo de tráfico.

Por último, Chatterjee (2008), evaluó reducciones de capacidad en zonas en construcción mediante el modelo de micro simulación VISSIM con el fin de estimar un conjunto de parámetros de calibración que pudiera ser utilizado para replicar las capacidades medidas en campo bajo ciertas condiciones de geometría y flujo en las vías. Recomienda que los parámetros del tipo de camión, el cual tiene gran influencia en la capacidad, se adecuen a las características de las flotas locales (potencia, longitud y peso).

2.1 Herramientas de modelación para análisis de transporte

Teniendo en cuenta los beneficios económicos y de recursos que están asociados a la segunda aproximación de estudio discutido hasta el momento para el análisis de velocidades y capacidad sobre vías donde se realicen obras, resulta sensato conocer diferentes enfoques de modelación disponibles para estudiar la situación, como los ilustrados en la Figura 1 y que según Hardy y Wunderlich (2009), pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Modelos de capacidad y nivel de servicio: Herramientas especializadas que utilizan

datos de conteos de tráfico y análisis de capacidad para predecir el impacto sobre sistemas de transporte.

- **Modelos de Demanda de Viajes:** Modelos matemáticos que predicen la demanda de viajes futuros basados en las condiciones actuales y las proyecciones futuras de los hogares y de centros de empleo.
- **Optimización de Semáforos:** Herramientas de optimización utilizados para desarrollar planes de temporización de semáforos de intersecciones aisladas, corredores arteriales y redes semaforizadas.
- **Simulación Macroscópica:** Modelos basados en relaciones deterministas del flujo, la velocidad, y la densidad del flujo de tráfico. Los modelos de simulación macroscópicos evalúan las condiciones del tráfico sección por sección en lugar de hacerlo mediante el seguimiento de los vehículos individuales. Estos modelos tratan a los flujos de tráfico como una cantidad agregada y no determinan el movimiento específico de vehículos individuales sobre una red.
- **Simulación mesoscópica:** Enfoques intermedios diseñados para redes más grandes asociadas con modelos de demanda macroscópicas de viajes, pero conservando algunos aspectos de detalle de la simulación microscópica. Los modelos Mesoscópicos estiman los efectos de congestión basados en el flujo de vehículos a través de arcos en el tiempo, pero típicamente no representan carriles individuales dentro de los arcos.
- **Simulación Microscópica:** Estas herramientas simulan el movimiento de los vehículos individuales basados en modelos de seguimiento vehicular, de cambio de carril y otros parámetros asociados con el comportamiento del conductor individual. Los modelos de simulación microscópicos actualizan la posición de los vehículos individuales cada segundo (o fracción de segundo) mientras se mueven a través de una red de carriles.

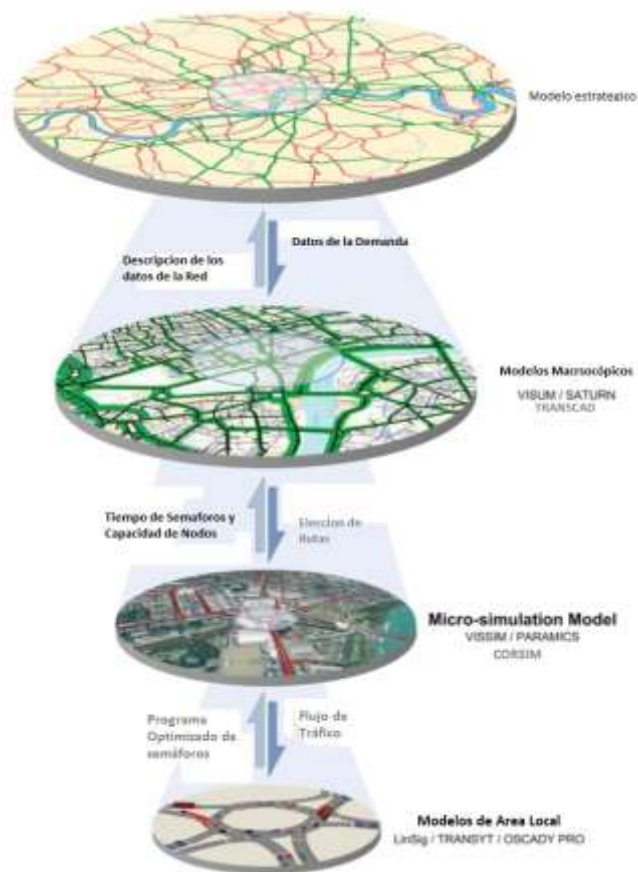


Figura 1. Jerarquía de los modelos de transporte.
Fuente: Smith y Blewitt (2010)

El estudio de la velocidad y la capacidad sobre una vía donde existen cuellos de botella debe permitir además entender los impactos que pueden generar estas reducciones de capacidad. Los impactos en el tráfico que se generan sobre una vía con cuellos de botella están asociados a fenómenos complejos como la congestión y la sobre saturación, los cuales se manifiestan a través de demoras, formación de colas y aumento en la contaminación. Por esta razón, los enfoques de modelación deben permitir analizar estrategias para mitigar dichos impactos sobre la red vial.

La funcionalidad y nivel de detalle con que se requiere analizar los impactos generados por cuellos de botella hacen que el enfoque de modelación más adecuado sea el uso de micro-simulación (ver Figura 2), que permite una representación más precisa y puede representar interacciones complejas que además pueden ser visualizadas, (Hardy 2009).

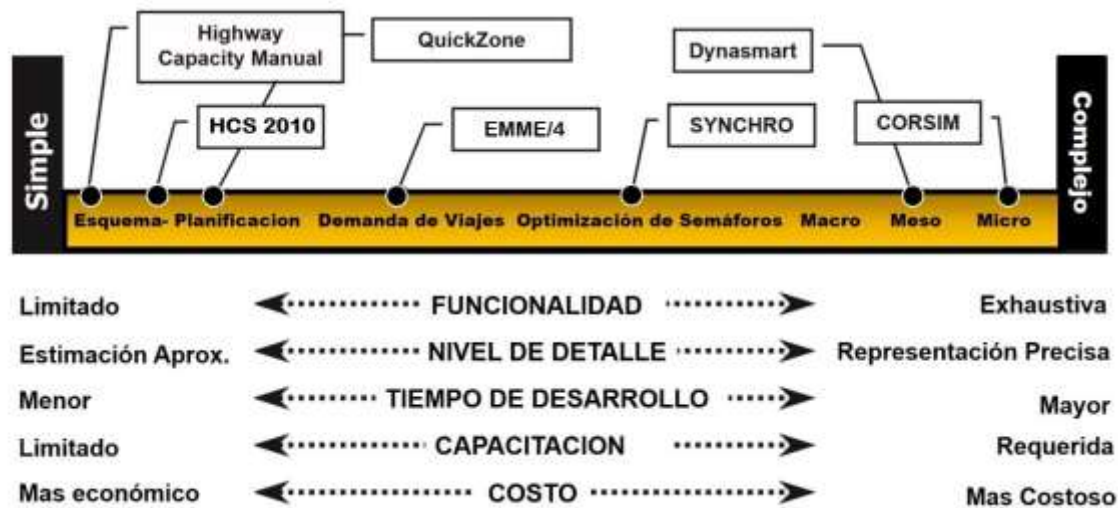


Figura 2. Modelos para zonas de trabajo.

Fuente: Hardy y Wunderlich (2009)

2.1.1 Modelos de micro simulación

May (1990), define la simulación como una técnica numérica para conducir experimentos en un computador digital, el cual puede incluir características estocásticas, ser microscópico o macroscópico en naturaleza, e involucrar modelos que describen el comportamiento de un sistema de transporte de transporte sobre periodos extendidos de tiempo real. La micro-simulación estudia el flujo de tráfico desde un punto de vista totalmente desagregado, cuyo objetivo es describir el proceso de acuerdo con las interacciones individuales entre vehículos. Esto implica el modelado de las acciones (aceleración, desaceleración y cambios de carril) de cada conductor en respuesta al tráfico que lo rodea de acuerdo con Barceló (2010).

Dowling et al. (2004), mencionan que los principales aspectos dentro de un proceso de micro-simulación son:

- Generar vehículos en el sistema para ser simulados (Generación de tráfico)
- Mover vehículos dentro del sistema (Movimiento de vehículos)
- Modelar las interacciones entre vehículos

Los modelos de generación de tráfico se usan para crear los vehículos que viajaran a través de

la red simulada durante una corrida del programa. Las características de los vehículos individuales (potencia, tipo, agresividad, velocidad deseada, etc) también son asignadas a los vehículos generados en esta etapa. Sin embargo, la parte principal del modelo de generación lo constituye el modelo de asignación de tiempos de salida que es el encargado de permitir la entrada de vehículos consecutivos desde un mismo origen. De acuerdo con Tapani (2005), el modelo Poisson es el más utilizado para asignar los tiempos de salida, aunque también es común utilizar otros modelos como el exponencial y el lognormal.

El movimiento de los vehículos a través del sistema se realiza mediante su paso a través de una red, que está formada por arcos y nodos (aunque algunos modelos utilizan otras variaciones de red). Algunos modelos pueden atribuirles características a los arcos que permiten modificar el comportamiento de los vehículos que se mueven a través de ellos. La asignación de la demanda sobre la red puede realizarse de dos maneras: la primera, corresponde a la asignación estática de rutas teniendo en cuenta volúmenes o conteos sobre puntos específicos; la segunda corresponde a la asignación de rutas a partir de matrices O-D y costos sobre los arcos. A su vez, la interacción entre los vehículos se define principalmente a través de los modelos de seguimiento vehicular y de cambio de carril.

2.1.1.1 Modelos de seguimiento vehicular

Los modelos de seguimiento vehicular replican la interacción entre un vehículo líder y un vehículo que lo sigue en un mismo carril. Se asume que la relación entre ellos se da por mecanismo de estímulo-respuesta, el cual determina el espaciamiento en cada momento del tiempo en relación a las velocidades y aceleraciones del vehículo que lidera.

May (1990) reseña que desde los años 50 y 60 se desarrollaron diferentes modelos de seguimiento vehicular, dentro de los que se destacan Pipes (1967), Kometani y Sasaki (1959), Forbes y Simpson (1968) y el modelo desarrollado por la General Motors en asociación con un grupo de investigadores (Tolle, 1974). Este último tuvo gran importancia debido a los extensos experimentos de campo realizados y a que estableció la brecha matemática entre los modelos de micro y macro-modelación.

En la Tabla 1, se resumen los principales tipos de modelos de seguimiento vehicular de acuerdo con la clasificación propuesta por Tapani (2005).

Tabla 1. Clasificación de los modelos de seguimiento vehicular.

MODELOS	SUPUESTOS	AUTORES
Modelos de distancia de seguridad o prevención de colisiones	Asumen que el vehículo que sigue siempre mantiene una distancia de seguridad respecto al vehículo líder	Pipes (1967) Kometani y Sasaki (1959)
Modelo (GHR) Gazis-Herman-Rother	Es un modelo del tipo respuesta-estímulo, donde la aceleración del vehículo perseguidor, es una función de la velocidad del perseguidor, la diferencia de velocidad entre perseguidor y líder y la brecha espacial	Chandler et al. (1958) Tolle (1974)
Modelos Psico-físicos	Utilizan umbrales o puntos de acción donde los conductores cambian su comportamiento. Los conductores solo son capaces de reaccionar a cambios en el espacio o relativos a la velocidad cuando alcanzan estos umbrales.	Wiedermann y Reiter (1970) Fritzsche y Benz (1994)

Fuente: Elaboración propia basado en Tapani (2005).

2.1.1.2 Modelo de cambio de carril

La posibilidad de cambiar de carril es relevante para estudiar el comportamiento en cualquier red vehicular. Los modelos de cambio de carril son básicamente de aceptación de brechas (Gap). Un vehículo puede cambiar de carril si la brecha espacial existente es mayor que la brecha espacial crítica. Los cambios de carril son gobernadas por tres condiciones (Gipps, 1986):

- La necesidad de cambiar de carril
- El deseo del conductor de cambiar de carril
- La posibilidad de cambiar de carril

La necesidad de cambiar de carril o el cambio de carril obligado, ocurre cuando un vehículo debe dejar el actual carril. El cambio de carril se ejecuta motivado por varias circunstancias como por ejemplo: el cierre de un carril por una obra, la necesidad de tomar una oreja, o el bloqueo del carril por un incidente o accidente.

El cambio discrecional o por deseo, ocurre cuando el conductor cambia de carril para mejorar su situación (por ejemplo, sobrepasar un vehículo más lento). La lógica del cambio de carril es elegir aquel carril que permita movilizarse mejor en términos de costos y tiempos, teniendo en cuenta la disponibilidad de espacio y las condiciones de los vehículos adyacentes.

La posibilidad de cambiar de carril también conocida como cambio anticipado de carril, ocurre cuando el vehículo cambia de carril en anticipación a disminuciones de velocidad aguas abajo como consecuencia de divergencias o convergencias. La lógica de cambio de carril reconoce que un conductor puede acelerar o desacelerar para crear brechas aceptables que le permiten cambiar de carril. Este cambio de carril involucra una medición del riesgo. Conductores más agresivos aceptarían menores brechas y mayores tasas de aceleración/ desaceleración.

2.1.2 Software disponible para micro-simulación.

Gao (2008), presenta un resumen de los programas que en la actualidad son utilizados por investigadores y consultores (ver Tabla 2).

Tabla 2. Software de Microsimulación disponibles en la actualidad (Elaboración propia)

Software	Descripción	Modelo de Seguimiento Vehicular	Modelo de cambio de carril
CORSIM	CORSIM (CORridor SIMulation) es un modelo de simulación microscópica desarrollado por la Administración Federal de Carreteras en 1996. Es uno de los programas de microsimulación más utilizados para la modelación de las operaciones de tráfico de vehículos incluyendo el análisis de las autopistas, calles urbanas y los corredores o redes.	Modelo de Pitt Halati et al. (1997)	Gipps's decision model (1981)

Software	Descripción	Modelo de Seguimiento Vehicular	Modelo de cambio de carril
VISSIM	Es un software de simulación microscópico desarrollado para análisis del tráfico urbano, las operaciones de transporte público y de los flujos de los peatones. Vissim utiliza básicamente dos modelos para simular el comportamiento de un flujo vehicular dentro de una red: seguimiento vehicular (<i>car following</i>) y cambio de carril (<i>lane change</i>).	Wiedemann (1974)	Willmann and Sparmann (1978)
PARAMICS	PARAMICS cuenta con una interfaz 3d dinámica y en tiempo real que es visible para el usuario, y fácil de operar y comprender. Además, es capaz de utilizar un gran número de funcionalidades para simular una red de tráfico y evaluar las distintas políticas y estrategias de control y sus efectos sobre la red de transporte, tales como demoras y emisiones de los vehículos	Fritzsche y Benz (1994)	gap acceptance policy
AIMSUM2	Este software de simulación de tráfico microscópico es capaz de reproducir las condiciones de tráfico real en una plataforma informática que permite diferentes tipos de redes. La modelación del comportamiento del conductor dentro AIMSUN se realiza a través de modelos de seguimiento de vehicular, de cambio de carril y aceptación de brecha.	Gipps (1986)	Gipps's lane changing model (Gipps, 1986)
INTEGRATION	Las dos características más importantes del software INTEGRATION son, es el primer modelo en tratar de integrar ambas autopistas y arterias; segundo, se integra asignación de tráfico y la simulación microscópica dentro del mismo modelo. El nombre INTEGRACIÓN se deriva de este hecho. El modelo de integración es capaz de proporcionar los suficientes datos de comportamiento detallados del conductor rastreando los movimientos de vehículos individuales desde su origen hasta su destino a un nivel de resolución de una décima de segundo.	Van Aerde y Rakha (1995)	Van Aerde y Rakha (2007)

Fuente: Elaboración propia, basada en Gao (2008)

2.1.3 Descripción de los modelos utilizados por Vissim

Vissim es un software de simulación microscópico desarrollado para análisis del tráfico urbano, las operaciones de transporte público y de los flujos de los peatones. Este software utiliza básicamente dos modelos para simular el comportamiento de un flujo vehicular dentro de una red: seguimiento vehicular (*car following*) y cambio de carril (*lane change*).

2.1.3.1 Modelo de seguimiento vehicular

El modelo de seguimiento de vehículos fue desarrollado por Wiedemann (1974), y se basa en estudios acerca del comportamiento psicofísico del conductor. Este modelo también se conoce

como modelo de puntos de acción. En el modelo se establecen los límites que determinan la reacción humana durante un proceso de seguimiento de vehículos, los cuales están influenciados por la percepción de variables como la velocidad, la aceleración y la distancia del vehículo seguido. Los límites generan tres áreas que definen diferentes situaciones de interacción entre el vehículo en seguimiento y el vehículo seguido (ver Figura 3). La primera área abarca aquellos vehículos que no están influenciados por el vehículo que sigue. La segunda área, los vehículos que de forma consciente se ven influenciados porque perciben un vehículo más lento al frente. La tercera área abarca vehículos que son influenciados inconscientemente por otros vehículos que interactúan dentro del proceso de seguimiento de vehículos o cuando el vehículo se enfrenta a una situación de emergencia.

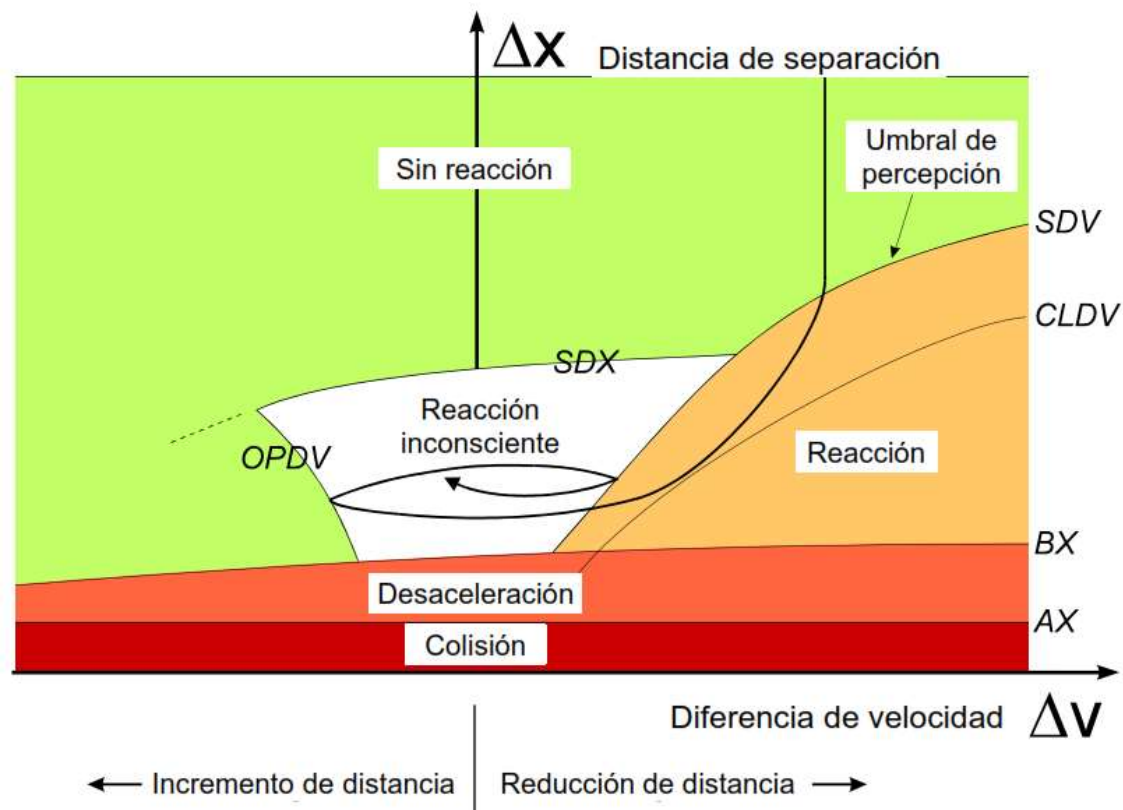


Figura 3. Lógica para el modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann 74
Fuente: (PTV, 2012)

Para poder representar las diferencias en diferentes factores como las habilidades, reacción frente a estímulos, agresividad, y sensación de seguridad de distintos conductores, el modelo utiliza dentro de sus cálculos parámetros aleatorios normalmente distribuidos que inciden en los

límites de percepción (conocidos como umbrales - *thresholds*) y las funciones de conducción, dándoles una naturaleza estocástica.

Wiedemann (1974) estudió los parámetros principales que determinan los límites de percepción dentro de un modelo de seguimiento vehicular y los cuales se describen a continuación:

- Distancia deseada entre los frentes de dos vehículos sucesivos en una posición estática en la cola (AX):

$$AX = Long\ Veh. + Brecha\ mínima + (aleat1) * axmult \quad (1)$$

Long Veh., representa la longitud del vehículo en metros. *Brecha mínima* se refiere al tiempo mínimo entre el parachoques trasero del vehículo que se sigue y el parachoques delantero del vehículo que sigue. *aleat1* es un número que proviene de una distribución normalmente distribuida $N(0.5, 0.15)$. *axmult* es un parámetro a calibrar

- Distancia mínima deseada de seguimiento a diferencias bajas de velocidad. Esta distancia es función de AX y una distancia de seguridad conocida como BX, y la velocidad, donde:

$$ABX = AX + BX \quad (2)$$

$$BX = (BX_add + BXmult * Aleat(I)) \times \sqrt{v} \quad (3)$$

,donde BX_add y BXmult son parámetros de calibración que definen el rango de variación, Aleat(I), es un número que proviene de una distribución normalmente distribuida $N(0.5, 0.15)$, y v es la velocidad

- Límite de percepción de diferencia de velocidad a largas distancias (SDV). Se refiere al punto de acción desde donde un conductor conscientemente observa que se aproxima a un vehículo más lento. SDV se incrementa con el incremento en la diferencia de velocidades Δv . En el trabajo original de Wiedemann (1974) un límite adicional,

conocido como delta de velocidad de aproximación (*CLDV*) se aplica para modelar una desaceleración adicional causada por el uso de los frenos, el cual tiene una mayor variación que *SDV*, donde:

$$SDV := \left(\frac{DX - AX}{CX} \right)^2 \quad (4)$$

$$CX := CXconst \times (CXadd + CXmult * Aleat1(I) + Aleat2(I)) \quad (5)$$

CXconst, *CXadd* y *CXmult* definen el rango de los umbrales. De acuerdo a las mediciones realizadas por Wiedermann y Reiter (1970) se encuentran en el rango entre 25 y 75.

- Límite de percepción de distancia creciente (*OPDV*). Se refiere al punto de acción desde donde el conductor nota que su velocidad es menor que la del vehículo líder y comienza a acelerar de nuevo. La variación de *OPDV* es grande comparada con la de *CLDV*, donde:

$$CLDV := SDV + EX^2 \quad (6)$$

Donde *EX* es un parámetro de calibración.

- Límite de percepción para modelar la distancia máxima de seguimiento (*SDX*).

$$SDX = AX + EX \times BX \quad (7)$$

2.1.3.2 Movimiento lateral de los vehículos.

Barceló (2010), describe los movimientos utilizados por Vissim para modelar el comportamiento de los vehículos siguiendo la siguiente lógica de comportamiento:

- Selección de carril

En tanto que un conductor no perciba la necesidad de un cambio de carril debido a que está alejado de la próxima intersección relevante, el escogerá el carril que ofrezca la mejor situación de interacción posible. Se ejecutan tres pruebas: Primero el conductor decide si quiere dejar el carril actual. Este es el caso en el que el estado de interacción no es de flujo libre (aplica el modelo de Wiedemann). Segundo, el conductor revisa los otros carriles para comprobar si existe

una situación de interacción mejor; es decir, si uno de los carriles adyacentes proporciona una mejor situación aguas abajo. El último chequeo consiste en saber si es posible realizar el cambio de carril considerando los vehículos aguas arriba, lo cual de acuerdo con Fellendorf y Vortisch (2010), es modelado como aceptación de brechas (gap).

- Cambio de carril

Según Jenkins (2004), el modelo de comportamiento humano para cambio de carril está basado en las investigaciones de Willmann (1978) y Sparmann (1978). Inicialmente Willmann (1978), desarrolló un modelo teórico basado en las decisiones humanas, que se relaciona fuertemente con el modelo de seguimiento vehicular, pues está regido por las percepciones de los conductores respecto a los vehículos adyacentes y sus movimientos relativos. El aporte de Sparmann (1978), fue el realizar mediciones extensivas acerca del comportamiento humano en el cambio de carril en vías en un solo sentido a nivel microscópico y macroscópico para refinar, calibrar y validar el modelo teórico de Willmann (1978).

El proceso de toma de decisión respecto al cambio de carril es complejo y para modelarlo comúnmente se utiliza un esquema jerárquico donde cada conductor debe responderse las siguientes interrogantes:

1. ¿Existe un deseo de cambiar de carril?
2. ¿Es la situación presente en el carril adyacente más favorable para la conducción?
3. ¿Es posible el movimiento hacia un carril adyacente?

Si la respuesta a cada una de las preguntas es positiva el conductor cambiará de carril. El cambio entre carriles de mayor velocidad a menor velocidad o al inverso, está condicionado por el nivel de obstrucción que se presente en el carril adyacente, lo cual a su vez está relacionado con la velocidad de conducción deseada y la velocidad del vehículo frontal. Estos cambios se dan solamente si no se presentan situaciones peligrosas en la maniobra.

En el modelo de cambio de carril se tienen dos valores que representan la percepción humana

frente a los cambios de velocidad y distancia de los vehículos alrededor. La primera es la *influencia actual* (SDXP) la cual surge del continuo chequeo de las velocidades y distancias de los vehículos (ver ecuación 8). La segunda es la *influencia potencial* (SDVP) que es resultado de un estimativo de cómo se desarrollará la situación actual a futuro, considerando posibles situaciones potenciales (ver ecuación 9). Estas influencias son definidas a nivel numérico como múltiplos de los límites actuales SDX y SDV que se usan en el modelo de seguimiento vehicular.

$$SDXP=AX + FX*BX \quad (8)$$

$$SDVP=FV*SDV \quad (9)$$

- Movimiento lateral continuo

El movimiento lateral continuo es permitido dentro y entre carriles, incluyendo el sobrepaso dentro del mismo carril si hay suficiente espacio disponible. Este comportamiento es típico de tráfico heterogéneos donde no existe una disciplina en el uso de los carriles. En general el movimiento lateral continuo sólo depende del espacio existente por lo que no aplican los modelos de aceptación de brechas. Finalmente las decisiones de aceleración lateral y longitudinal no pueden ser consideradas como procesos independientes.

3 METODOLOGIA DEL ESTUDIO

Para el desarrollo de la presente investigación, se estableció la siguiente metodología:

- **Recolección y análisis de datos de campo:** se realizaron mediciones de campo sobre una vía urbana de doble calzada donde se estaba ejecutando una obra y existía una disminución de capacidad producto del cierre de uno de sus carriles (Ver Figura 4). Los datos recolectados por los aforadores fueron velocidades, colas, demoras y flujo vehicular.
- **Calibración del modelo de micro-simulación:** basado en los datos obtenidos de campo, se utilizó un software de micro-simulación para intentar replicar las condiciones de campo observadas. Dado que el software de micro-simulación utiliza modelos paramétricos para representar el comportamiento del flujo vehicular, esta etapa contempla la calibración de los parámetros de dichos modelos para poder reproducir las condiciones locales y de cierre de vías.
- **Diseño de experimento:** con el modelo calibrado para las condiciones locales, se procedió a realizar un diseño de experimento para simular diferentes condiciones geométricas y de operación. El objetivo de realizar un experimento es poder generalizar los resultados obtenidos a partir del modelo de micro-simulación.
- **Análisis de resultados de las simulaciones:** a partir de los resultados del modelo de micro-simulación en los diferentes escenarios modelados, se establecieron relaciones entre variables de gestión como la capacidad, demoras, y colas con las características geométricas del cuello de botella y del flujo vehicular operante sobre la vía. El análisis de los resultados permitió establecer las conclusiones y recomendaciones del estudio.



Figura 4. Zona de trabajos en la Avenida Circunvalar

3.1 Toma de datos de campo

3.1.1 Características geométricas y operativas de la vía en estudio

Los datos para la realización de esta investigación se tomaron sobre una vía urbana multicarril conocida como la Avenida Circunvalar, entre carrera 51B y carrera 46 (Avenida Olaya Herrera), en la ciudad de Barranquilla. En esta sección de la Avenida Circunvalar, específicamente en el puente ubicado sobre la Carrera 46 se estaba ejecutando una obra en la cual la calzada de la Avenida Circunvalar se reducía de dos carriles a un solo carril como se puede apreciar en las Figuras 5 y 6. Las condiciones locales en el cuello de botella se consideraron propicias para el estudio de flujo, demoras y colas debido a que su configuración geométrica y de composición vehicular no estaba afectada por la presencia de elementos adicionales como intersecciones semaforizadas o de prioridad que pudieran influir en las demoras y colas en la zona.



Figura 5. Esquema de la configuración geométrica en el cierre de carril



Figura 6. Foto del cierre del carril derecho sobre la circunvalar

La sección transversal tipo de esta vía (ver Figura 7), contiene 2 carriles por sentido. Cada carril es de 3,6 m y no cuenta con andenes para circulación peatonal. Tiene cunetas en el carril externo para el drenaje de aguas lluvias de geometría triangular y además posee un separador con una altura aproximada de 30cm.

En cuanto a la configuración geométrica de la reducción, se midió en campo que la longitud del cuello de botella, que de ahora en adelante llamaremos L2 era de aproximadamente 170m y la longitud de la transición, que llamaremos L1 era de 50m (Ver Figura 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

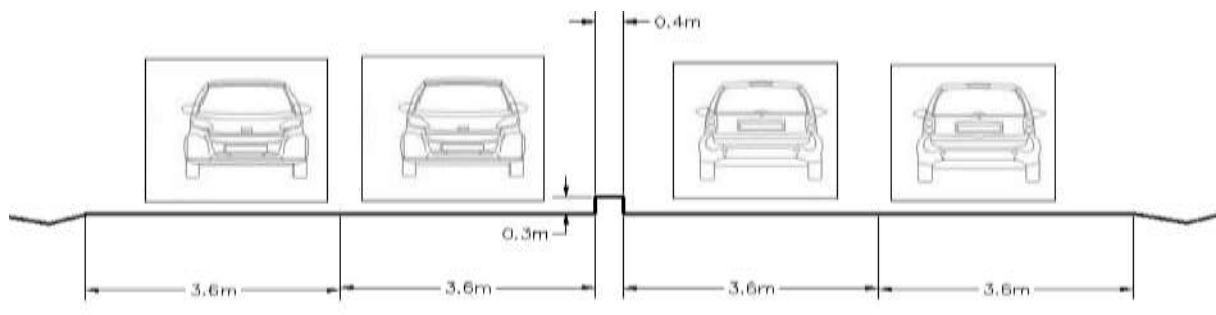


Figura 7. Sección transversal típica Avenida Circunvalar entre carrera 46 y 51B

3.1.1.1 Estado del pavimento

El estado del pavimento en todo el corredor, en general, se encuentra de regular a buen estado. La vía no presenta deterioros severos como huecos pero si presenta algunas grietas por el desgaste generado por el flujo vehicular.

El tramo en estudio, entre la carrera 46 y la carrera 51B dirección norte-sur, en general presenta buen estado debido a las notorias reparaciones que se han efectuado sobre la vía, sin embargo existe un tramo de aproximadamente 50m, después del enlace de la Carrera 46 e incluso debajo del puente, que presenta losas fracturadas que obligan a los vehículos a reducir su velocidad.



Figura 8. Placas deterioradas sobre la Avenida Circunvalar



Figura 9. Estado pavimento (capas de asfalto) Avenida Circunvalar entre carrera 46 y 51B

3.1.2 Señalización

La señalización vertical y horizontal de este corredor esta implementada para una velocidad operativa de 80km/h. Debido a las obras que se ejecutaban debajo del puente Olaya Herrera (carrera 46), se instalaron señales para restringir la velocidad máxima de operación de acuerdo con las recomendaciones del Manual de Señalización, Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia 2004 publicado por INVIAS (2004). De acuerdo con el manual en su capítulo 4, las medidas están dirigidas a “reducir el riesgo de accidentes y hacer más ágil y expedito el tránsito de los usuarios, procurando reducir las molestias en su desplazamiento por la vía”. En la Figura 10 se presenta el esquema de la señalización temporal de obra instalada la cual cumplía con las recomendaciones del INVIAS (2004).

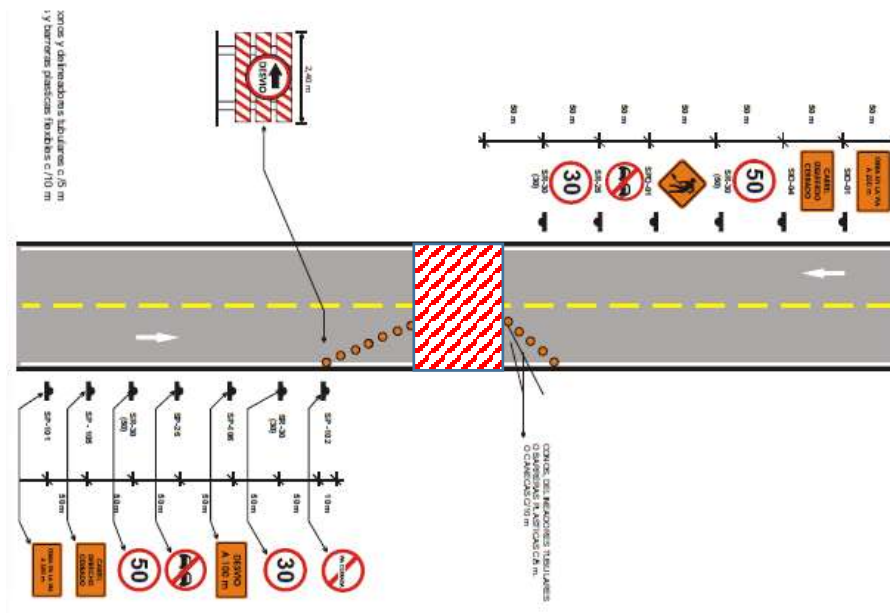


Figura 10. Esquema de señalización para obra en el sitio

Fuente: INVIAS (2004) con modificaciones del autor.

Adicional a las señales presentadas en la Figura 10, se encuentran 2 señales preventivas de bifurcación a derecha y una señal reglamentaria para indicar la altura máxima permitida (galibo) de 4.5m bajo el puente. La señalización horizontal en el corredor, como se puede observar en la Figura 11, está en mal estado, ya que las líneas blancas divisorias de carril no se ven claramente.



Figura 11. Estado señalización horizontal

3.1.3 Aforos vehiculares

Los aforos vehiculares junto con otras medidas de desempeño para evaluar el comportamiento del flujo vehicular en el cuello de botella ubicado sobre la Avenida Circunvalar fueron realizados por una serie de aforadores entrenados y estudiantes de la asignatura de Ingeniería de Transporte.

Los aforos fueron realizados durante la hora pico de la mañana para el Distrito de Barranquilla, entre 6:45 a.m. y 8:45 a.m. De acuerdo con la descripción de los trabajos realizados (Andrades et al., 2013), los aforadores se posicionaron en tres puntos: En el puente de la Carrera 51B, antes del enlace de la intersección sobre la Carrera 46 y después de la reducción de carril. Además, los aforos se complementaron con una filmación que sirvió para revisar y complementar los datos obtenidos. (Ver Figura 12).



Figura 12. Esquema de ubicación de los puntos de aforo

A continuación se describen los distintos puntos de aforos vehiculares y se muestra la información recolectada:

- **Aforo sobre la circunvalar**



Figura 13. Lugar toma de datos sobre la Avenida Circunvalar

En este punto, el cual se observa en la Figura 13, los resultados muestran que los usuarios que más utilizan esta vía son los automóviles con un porcentaje del 72,1%, en segunda instancia las motocicletas con un porcentaje del 15,6%, los buses cuentan con un 8,1% y por último los camiones con un 4,2% (ver tabla 3).

Tabla 3. Resumen Aforos sobre Avenida Circunvalar

HORA	TIPO	AUTOMÓVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES
06:45 - 07:00		250	37	16	10
07:00 - 07:15		217	76	21	8
07:15 - 07:30		221	46	19	11
07:30 - 07:45		234	41	25	6
07:45 - 08:00		209	50	23	16
08:00 - 08:15		193	49	39	14
08:15 - 08:45		233	38	31	26
TOTAL		1557	337	174	91
TOTAL VEHÍCULOS QUE CRUZAN POR LA VÍA					2159

De los aforos se obtiene que la hora pico corresponde al período entre las 6:45 a.m. a las 7:45 a.m. con un Volumen horario de Máxima demanda de 1238 Veh/h, $q_{\max}=322\text{veh}$ y un FHP de 0,96.

- **Aforo Enlace Carrera 46 - Circunvalar**



Figura 14. Lugar de toma de datos sobre el enlace con la Circunvalar

En el punto de aforo, correspondiente al enlace que va de la Carrera 46 a la Avenida Circunvalar (Ver Figura 14), los usuarios que más utilizan esta vía son automóviles con un porcentaje del 76.7%; en segunda instancia, motocicletas con un porcentaje del 20.3%; buses, con un 1.3%; y por último, camiones con un 1.7% (ver tabla 4).

Tabla 4. Resumen aforos de conteos sobre la oreja hacia la Circunvalar.

HORA	OREJA CARRERA 46			
	AUTOMÓVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES
06:45 - 07:00	88	33	2	2
07:00 - 07:15	74	21	2	3
07:15 - 07:30	95	28	1	0
07:30 - 07:45	94	23	0	1
07:45 - 08:00	98	24	2	3
08:00 - 08:15	97	22	2	1
08:15 - 08:45	82	15	2	4
TOTAL	628	166	11	14
TOTAL VEHÍCULOS QUE CRUZAN POR LA VÍA DESDE EL ENLACE				845

En la hora pico el volumen que pasa por el enlace e ingresa a la Circunvalar es de 467veh/h, con

un $q_{\max.}=125\text{veh}$ y un $FHP=0.93$

- **Aforo ramal 51b-Circunvalar**

En este punto se contabilizaron los vehículos que vienen desde la Carrera 51B e ingresan a la Avenida Circunvalar, ubicación de la Figura 15. De acuerdo con los aforos realizados (Ver tabla 5), en la hora pico salen por este ramal hacia la Circunvalar 300veh/h, con un $q_{\max.}=82\text{veh}$ y un $FHP=0.91$



Figura 15. Ubicación lugar de aforo. Ramal 51B-Circunvalar

Tabla 5. Aforo realizado en el ramal que va de la Carrera 51B hacia la Circunvalar.

HORA	RAMAL CARRERA 51B			
	AUTOMÓVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES
06:45 - 07:00	58	22	1	1
07:00 - 07:15	48	13	1	1
07:15 - 07:30	62	17	0	0
07:30 - 07:45	61	14	1	0
07:45 - 08:00	59	14	1	1
08:00 - 08:15	62	10	1	0
08:15 - 08:45	52	9	1	2
TOTAL	402	99	6	5
TOTAL VEHÍCULOS QUE INGRESAN POR EL RAMAL				512

- **Aforo ramal Circunvalar-Carrera 46**

En este punto se contabilizaron los vehículos que salen desde la Avenida Circunvalar hacia la Carrera 46 (Avenida Olaya Herrera). En la Tabla 6 se presenta el resumen de los conteos de lo cual se pudo estimar que en la hora pico salen por este ramal hacia la Circunvalar 220 veh/h., con un $q_{\max}=55\text{veh}$ y un $FHP=0.95$.

Tabla 6. Aforo realizado en el ramal de salida hacia la Carrera 46

HORA	RAMAL SALIDA HACIA CRA 46			
	AUTOMÓVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES
06:45 - 07:00	42	16	1	1
07:00 - 07:15	35	10	1	1
07:15 - 07:30	45	13	0	0
07:30 - 07:45	44	10	1	0
07:45 - 08:00	42	10	1	1
08:00 - 08:15	45	8	1	0
08:15 - 08:45	37	7	1	2
TOTAL	290	74	6	5
TOTAL VEHÍCULOS QUE DESVIAN POR EL RAMAL				375

- **Aforo Avenida Circunvalar debajo del puente de la 51b**

Para la medición de este punto fue necesario recurrir al video grabado, debido a la dificultad de obtener estos valores en un sitio donde la cola se propagaba rápidamente aguas arriba. En la tabla 7 se presentan los aforos donde se encontró que el Volumen en la Hora pico es de 1302Veh/h con un $q_{\max}=336\text{veh}$ y $FHP=0.97$.

Tabla 7. Aforo Avenida Circunvalar debajo del puente de la 51B

HORA	Circunvalar debajo del Puente de la 51B			
	AUTOMÓVILES	MOTOS	BUSES	CAMIONES
06:45 - 07:00	263	39	17	11
07:00 - 07:15	228	76	23	9
07:15 - 07:30	233	49	20	10
07:30 - 07:45	246	44	27	7
07:45 - 08:00	220	53	25	17
08:00 - 08:15	203	52	41	15
08:15 - 08:45	245	40	33	28
TOTAL	1638	353	186	97
TOTAL VEHÍCULOS QUE CRUZAN POR LA VÍA				2274

3.1.3.1 Composición Vehicular

En la Figura 16 se puede apreciar los porcentajes totales para los diferentes tipos de vehículos que circularon por la vía en estudio durante los periodos de aforo. El tráfico sobre la zona de estudio es heterogéneo, con una predominancia de automóviles, lo cual reafirma la utilización de herramientas de micro simulación sin las cuales sería muy complejo realizar un análisis adecuado.

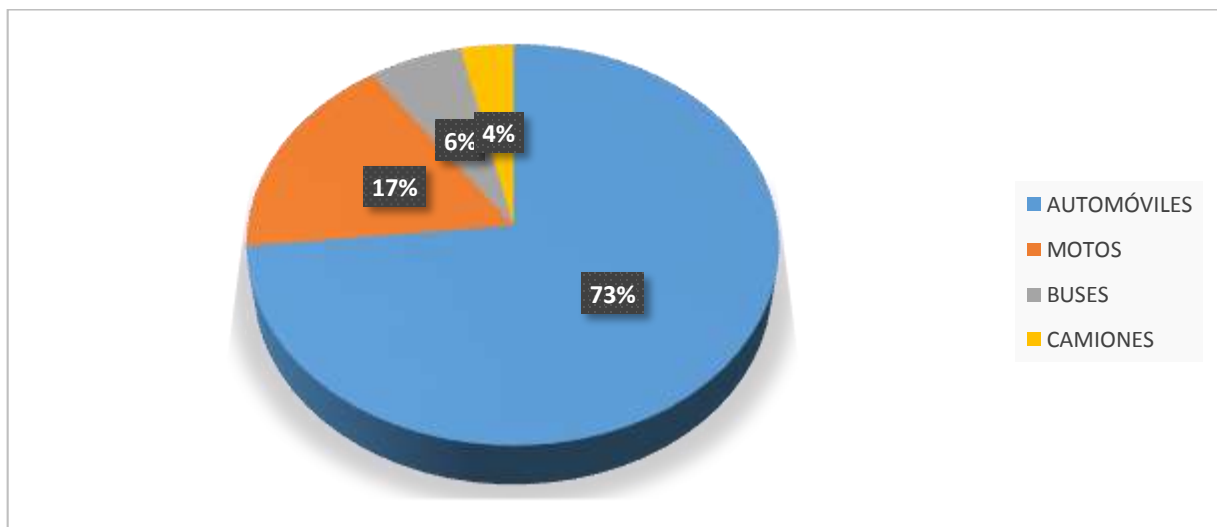


Figura 16. Porcentaje de vehículo por clase

Tabla 8. Factores de equivalencia para distintos tipos de vehículos

Tipo de vehículo	Unidades de vehículos equivalentes
Automóvil	1.0
Bus	2.0
Camión	3.0
Motocicleta	0.5

Fuente: adaptado de TTRL (1965) y MoC (2001)

Analizando los aforos realizados y efectuando la conversión a vehículos equivalentes (ver Tabla 8), se determinó que el flujo durante el periodo de estudio sobre la Avenida Circunvalar fue de 2346 veh/h. Además, se estimó que la tasa de flujo máximo, q_{max} , se presentó en el intervalo de tiempo de 06:45 – 07:45; mientras que la tasa de flujo mínima, q_{min} , se presentó en el intervalo de tiempo entre 08:15 – 08:30.

$$q_{max} = \frac{330.5 \text{ veh}}{15 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 1322 \text{ veh eq/h} \quad (10)$$

$$q_{min} = \frac{196 \text{ veh}}{15 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 784 \text{ veh eq/h} \quad (11)$$

Por otra parte, a partir de la tasa de flujo máximo se obtuvo que el intervalo promedio a dicha durante la hora pico fue de 1,81 seg/veh.

$$\bar{h} = \frac{1}{q_{max}} = \frac{3600 \text{ s/h}}{1322 \text{ veh/h}} = 2.73 \text{ s/veh} \quad (12)$$

3.1.4 Indicadores de gestión y comportamiento.

Como complemento a las mediciones de flujo, se tomaron indicadores de gestión del comportamiento del flujo vehicular durante los mismos periodos de aforo. Los indicadores de gestión utilizados fueron: velocidades, demoras y colas. Estos indicadores se tomaron simultáneamente con los aforos vehiculares para evitar la propagación de errores en el proceso de calibración de los modelos de micro-simulación. A continuación se presentan los resultados de los indicadores de gestión medidos durante los periodos de aforo:

3.1.4.1 Velocidades

Para llevar a cabo la toma de velocidades se determinó un tamaño de la muestra a través de la ecuación 5, la cual puede ser usada para calcular el número de vehículos de cada categoría a los cuales se les debe medir su velocidad de punto:

$$N = \left(\frac{KS}{e} \right)^2 \quad (13)$$

donde,

S= Desviación estándar, debido a que no se realizó una prueba piloto, se tomó un valor de 8 Km/h.

E= Error permitido, el cual se tomó de 2.9 km/h

K= Para un confiabilidad del 95 %, se tiene un K de 1.96

El tamaño muestral obtenido para el análisis de velocidad fue de 30 vehículos dentro de cada categoría que circula por la vía. Las velocidades de punto fueron medidas utilizando un radar que se ubicó sobre la berma de la vía.

Todas las velocidades de punto medidas, sin distinguir la estación de aforo, se presentan en el Anexo 1. A partir de un análisis estadístico de las velocidades de punto (ver Tabla 9) se determinó la velocidad media espacial y temporal por tipo de vehículo. Las velocidades representan un insumo de mucha importancia para la calibración del modelo, dado el impacto que puede tener sobre las demoras en el cuello de botella.

Tabla 9. Datos estadísticos para tomas de velocidad

	TIPO DE VEHICULO			
	BUS	AUTO	CAMION	MOTO
Media	18,74	19,74	19,87	18,51
Error típico	0,88	0,82	0,88	1,06
Mediana	20,13	20,45	20,45	19,68
Moda	21,81	21,81	21,81	20,13
Desviación estándar	5,73	4,56	6,58	5,98
Varianza de la muestra	32,80	20,82	43,27	35,76
Curtosis	-1,08	0,39	-0,99	-1,05
Coficiente de asimetría	-0,35	-0,59	-0,20	0,19
Rango	21,25	19,60	24,88	20,60

	TIPO DE VEHICULO			
	BUS	AUTO	CAMION	MOTO
Mínimo	7,84	10,15	7,84	9,84
Máximo	29,08	29,74	32,72	30,44
Suma	786,92	611,79	1112,91	592,21
Cuenta	42,00	31,00	56,00	32,00

Fuente: Andrades et al. (2013)

Los automóviles y motocicletas tienen aproximadamente una velocidad de 5 km/h superior al de los vehículos más pesados.

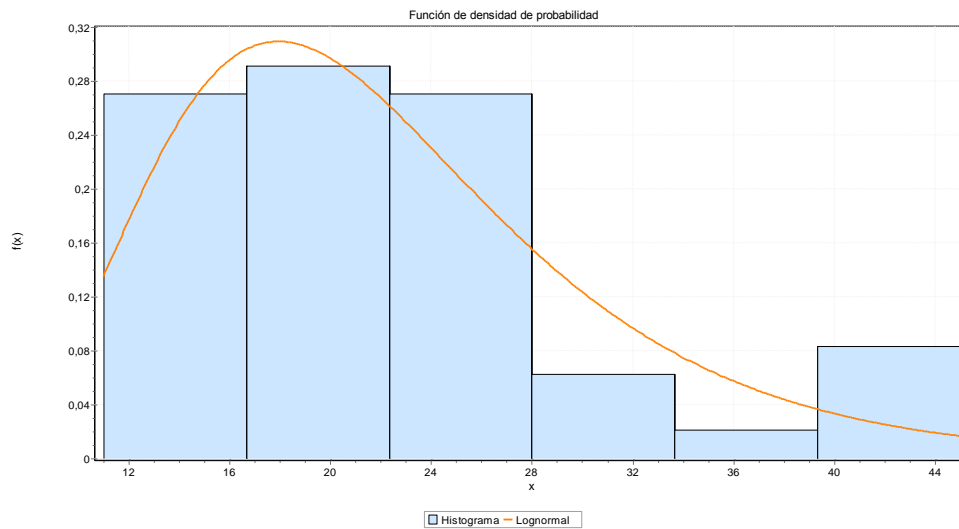


Figura 17. Histograma de frecuencias para velocidades de buses

Un histograma de frecuencias para las velocidades de buses (ver Figura 17) permite observar que la velocidad más frecuente para los buses fue de 20 km/hr. La velocidad que se obtuvo para los buses sobre la reducción resultó menor que las velocidades de operación y de diseño para la vía.

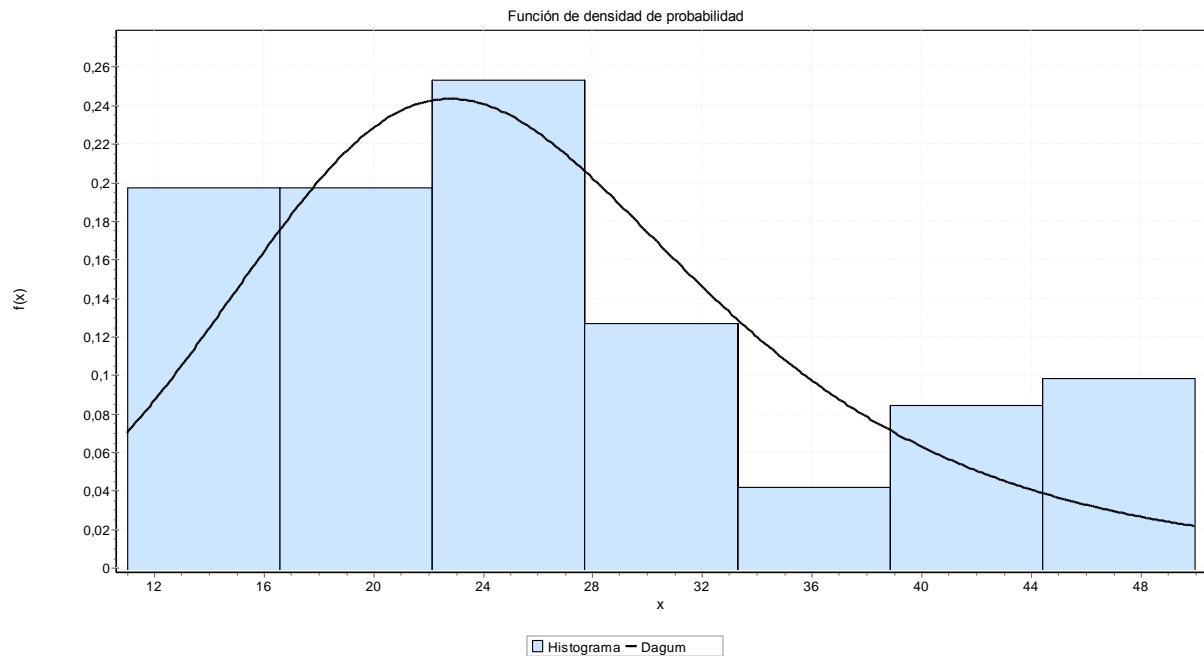


Figura 18. Histograma de frecuencia para velocidades en autos.

El histograma de velocidades de los automóviles (ver Figura 18) muestra que la velocidad prevalente fue de 26,59 km/h. En la reducción, dada la presencia de la obra, la mayoría de los autos circulan a una velocidad inferior a la permitida.

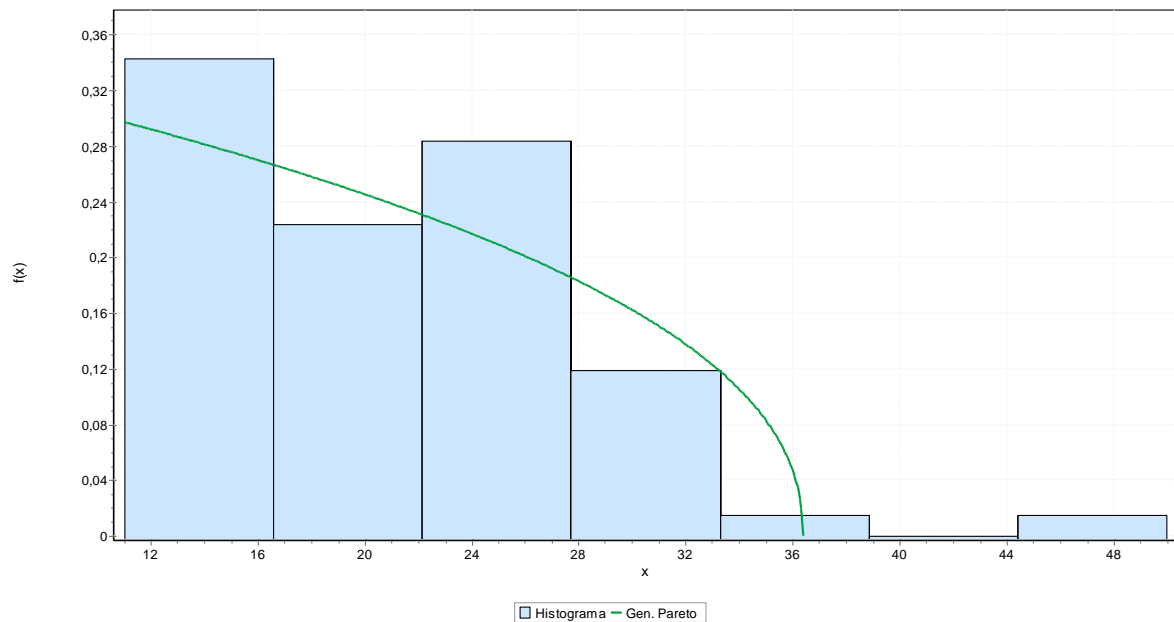


Figura 19. Histograma de frecuencia para velocidad de motocicletas

A pesar de la flexibilidad de las motocicletas, el histograma de velocidades para este tipo de vehículos (ver Figura 19) muestra que la mayoría circulan a velocidades menores a los 20 km/h. Posiblemente, la presencia del radar o el comportamiento agresivo del resto de conductores puede causar las bajas velocidades de este tipo de vehículos.

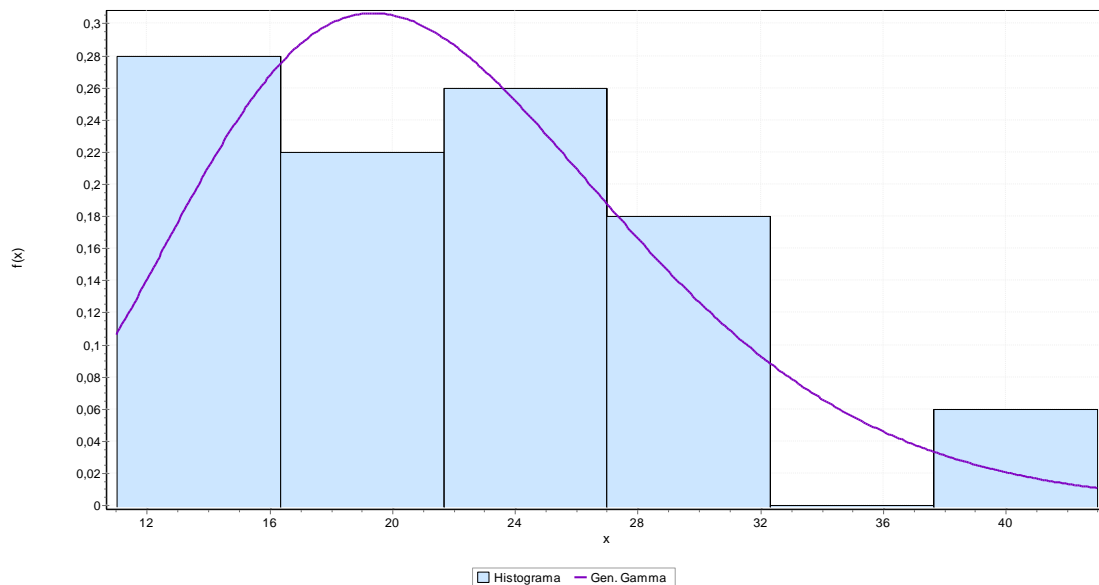


Figura 20. Histograma de frecuencias para camiones

El histograma de velocidades para camiones (ver Figura 20), muestra que este tipo de vehículos tienden a circular a bajas velocidades cuando existen cuellos de botella. Se observó que la mayor cantidad de vehículos circula en el rango entre 10 a 16 km/h.

3.1.4.2 Demoras y colas

La estimación de la demora media por vehículo se realizó durante la hora pico. Se tomó una muestra de 30 vehículos, a los cuales se les midió el tiempo que tardaron en cruzar el cuello de botella tomando como referencia las intersecciones de las carreras 51B y 46. El tiempo anterior fue luego comparado con el tiempo que deberían tardar los vehículos en cruzar el mismo tramo pero sin la presencia de la reducción. En la Tabla 10, se muestran las demoras medidas para cada vehículo, mientras que en la Tabla 11, se muestra un resumen estadístico de la muestra tomada.

Tabla 10. Datos obtenidos para estimación de demoras

Demora por vehículo (en hora pico)		
minutos	segundos	Vehículo (i)
2:27	147	1
2:03	123	2
1:17	77	3
1:12	72	4
2:05	125	5
1:57	117	6
1:48	108	7
1:52	112	8
2:28	148	9
2:13	133	10
1:19	79	11
1:22	82	12
2:15	135	13
1:53	113	14
1:46	106	15
1:42	102	16
1:29	89	17
1:38	98	18
2:05	125	19
1:49	109	20
1:25	85	21
1:52	112	22
2:16	136	23
1:22	82	24
2:26	146	25
1:46	106	26
1:31	91	27
1:26	86	28
1:35	95	29
1:51	111	30

Tabla 11. Resumen de datos estadísticos para las demoras

<i>Demoras</i>	
Media	108.33
Error típico	4.02
Mediana	108.50
Moda	125
Desviación estándar	22.03
Curtosis	-0.88
Coefficiente de asimetría	0.21
Rango	76
Mínimo	72
Máximo	148
Nivel de confianza (95.0%)	8.23

En el cuello de botella, también se midió el porcentaje de vehículos que se detuvieron y el tiempo que estos experimentaron detenidos. También se tomó una muestra representativa de 30 vehículos, destacándose que las demoras ocurrían eran recurrentes debido a la presencia del cuello de botella. Las mediciones del tiempo que demoraron detenidos los vehículos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se puede observar que dichos tiempos son muy cortos, debido a que por lo general las colas permanecían en constante movimiento.

La mayor longitud de cola durante la hora pico fue de 469,2 metros mientras que la longitud de cola promedio durante el tiempo de medición fue 266,93 metros (ver Tabla 13), medidos desde el acceso al cuello de botella. En la Tabla 12 se muestran las distancias aproximadas, tomadas bajo la referencia de unas marcas sobre el eje de la vía, las cuales se encontraban separadas a una distancia de 10 metros entre cada una de ellas. Se puede denotar que algunas distancias se repiten, lo que puede deberse a que permanecían constantes durante ese intervalo de tiempo, lo que conlleva a deducir que con la misma frecuencia con la que un vehículo sale de la cola (abandona la cola bajo el puente de la carrera 46), ingresa un nuevo vehículo (proveniente de la vía bajo el puente de la carrera 51b). También se tuvo en cuenta un factor importante como lo

es el número de carriles ocupados en el tramo tomado como referencia para el conteo de colas (denotado en la columna carriles en la Tabla 12).

Tabla 12. Datos de campo para la estimación de colas

ID	HORA (a.m.)	LONGITUD DE COLA (m)	CARRILES
1	6:30	0	
2	6:32	0	
3	6:40	0	
4	6:42	49.2	1
5	6:44	79.2	1
6	6:47	279.2	1
7	6:49	279.2	1
8	6:52	279.2	1
9	6:54	469.2	1
10	6:57	339.2	2
11	7:00	339.2	2
12	7:02	399.2	2
13	7:04	399.2	2
14	7:07	469.2	2
15	7:09	399.2	2
16	7:12	399.2	2
17	7:14	339.2	2
18	7:16	279.2	2
19	7:19	339.2	1
20	7:21	279.2	2
21	7:24	219.2	2
22	7:26	279.2	1
23	7:28	279.2	1
24	7:30	279.2	1
25	7:35	339.2	2
26	7:37	279.2	2
27	7:39	279.2	2
28	7:41	219.2	2
29	7:43	219.2	1
30	7:45	219.2	1
31	8:05	279.2	2
32	8:07	279.2	2
33	8:09	279.2	2
34	8:11	279.2	2
35	8:13	339.2	2

ID	HORA (a.m.)	LONGITUD DE COLA (m)	CARRILES
36	8:15	279.2	2
37	8:17	279.2	2
38	8:20	219.2	2
39	8:23	279.2	1
40	8:25	279.2	1
41	8:27	219.2	1
42	8:29	219.2	1
43	8:30	219.2	1

Tabla 13. Resumen estadístico para los datos de colas

<i>LONGITUD DE COLA (m)</i>	
Media	266.93
Error típico	16.65
Mediana	279.20
Moda	279.20
Desviación estándar	109.16
Curtosis	1.32
Coefficiente de asimetría	-0.90
Rango	469.20
Mínimo	0
Máximo	469.20
Nivel de confianza (95.0%)	33.60

3.1.4.3 Información de tiempos de viaje

La recolección de información de los tiempos y velocidades de recorrido, se realizó mediante la técnica del “vehículo flotante” (Dowling et al., 2004), donde se realizaron varios recorridos en vehículos instrumentados con GPS durante la hora pico sobre la vía donde se encontraba el cierre del carril. Los datos obtenidos del como velocidad, distancia y tiempo, fueron llevados a un software CAD que se utilizó para filtrar los registros de los segmentos de vía donde se realizaría la comparación respecto a los recorridos simulados en el software. Dado que se tenían disponibles varios registros GPS de vehículos durante la hora pico de medición, estos se filtraron y procesaron en una hoja de cálculo para obtener curvas de tiempo vs distancia que serían

comparadas con los perfiles de velocidades obtenidas en las simulaciones (ver Figura 21).

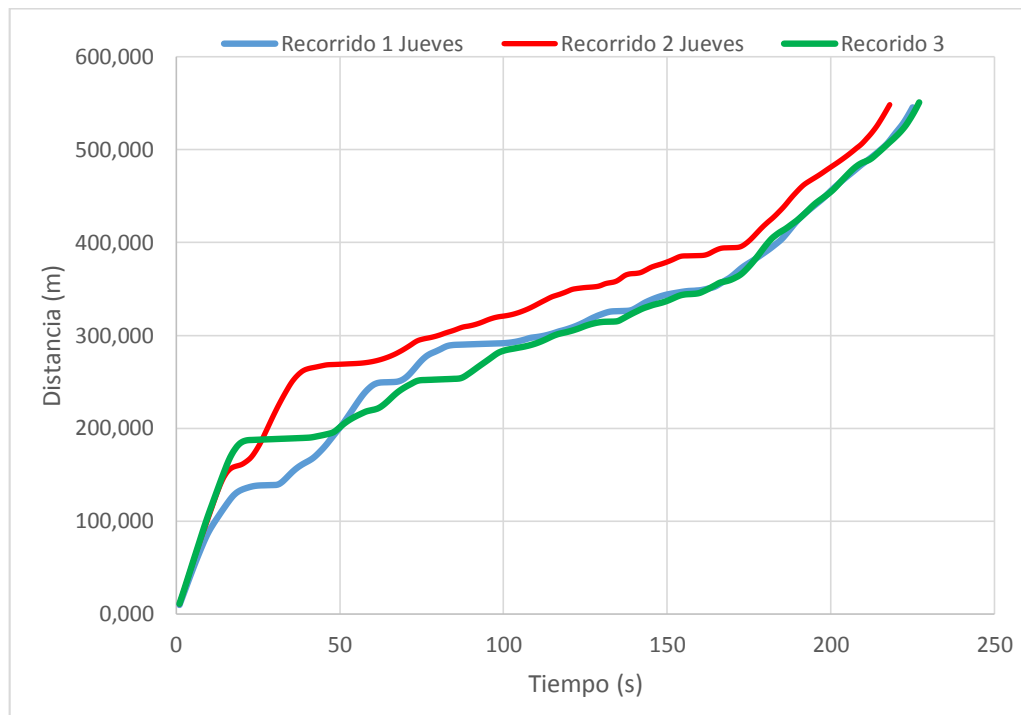


Figura 21. Graficas de perfil de velocidad para técnica del vehículo flotante

3.2 Construcción y calibración del modelo

El software de micro-simulación Vissim® fue la herramienta escogida para simular el efecto que tienen diferentes configuraciones de un cuello de botella sobre la capacidad, velocidad, demoras y colas que experimentan los usuarios que transitan sobre una vía que cuenta con una reducción de capacidad.

Para la construcción del modelo a simular, se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas para utilizar software de micro-simulación de tráfico de la FHWA (Dowling et al., 2004). De acuerdo con esta guía, los insumos principales necesarios para construir y calibrar el modelo de micro-simulación son los siguientes:

- Geometría de la vía (longitudes, carriles, curvatura)
- Controles de tráfico (ciclos semafóricos, señales)
- Demanda (volúmenes de entrada, los volúmenes que giran, matriz O-D)
- Parámetros de los modelos que usa el software para representar el comportamiento

vehicular.

- Indicadores de gestión para la calibración (demoras, tiempos de viaje y colas)

3.2.1 Desarrollo del modelo base

El desarrollo del modelo base consiste en la representación virtual de las características principales del escenario real, de manera que pueda representar acertadamente su comportamiento. A continuación se describen los diferentes elementos mediante los cuales se elaboró el modelo, tomando como insumos, datos obtenidos de mediciones de campo, fotos aéreas y planos digitales georreferenciados.

- Geometría de la vía

Se construyó la red de arcos y conectores basados en un plano base georreferenciado de la ciudad de Barranquilla de manera que se representaran con precisión, las distancias, ancho y número de carriles del escenario real. La reducción de carril se modeló de acuerdo a la configuración existente en campo (Figura 22).

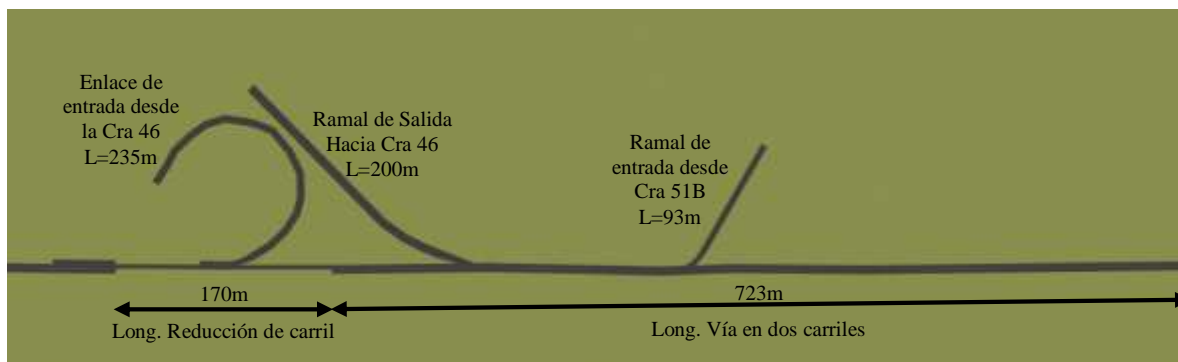


Figura 22. Geometría del modelo construido en Vissim®.

Se tuvo especial cuidado en el detalle de la construcción de la entrada desde el enlace de la Carrera 46, ya que en este punto existía la reducción de carril per la mismo tiempo se permitía la entrada por el enlace (Ver Figura 23).

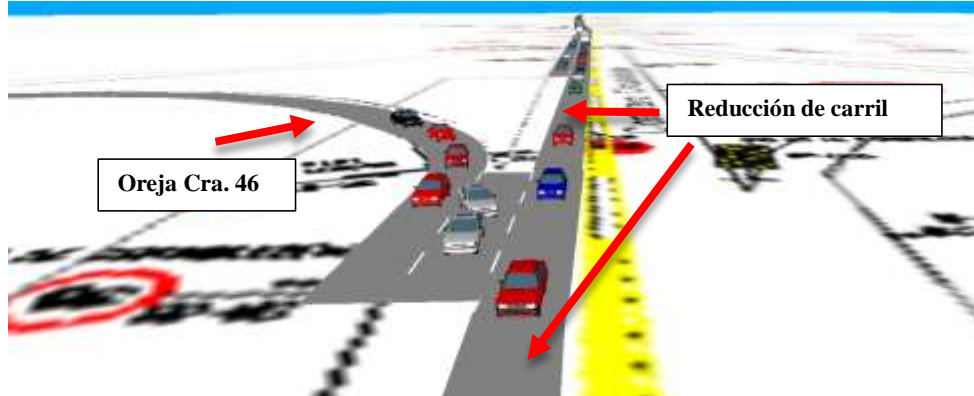


Figura 23. Modelación del cierre de carril en Vissim®

- Controles de tráfico.

En la intersección de la Avenida Circunvalar con la Carrera 46 no existen señales de pare o semáforos por tratarse de una intersección a desnivel tipo trébol. Sin embargo, debido al cierre de carril se dispusieron una serie de señales para disminución de la velocidad como medida de control de tráfico y precaución. Estos dispositivos se representaron en el modelo mediante los elementos de Vissim®: áreas de reducción de velocidad y Decisiones de velocidad deseada, que permiten modificar la velocidad del vehículo de acuerdo a la señalización o las restricciones existentes (Ver Figura 24).



Figura 24. Áreas de reducción de velocidad modeladas en la calibración del modelo

De acuerdo con la señalización existente sobre cada uno de los elementos viales (ver capítulo 3.1.2), se asignaron en el modelo las distintas velocidades de operación, de la siguiente manera:

- Velocidades deseadas en vía principal: 60 km/h
 - Velocidades en ramales y enlaces: 40 km/h
 - Velocidad en áreas de reducción de velocidad por tipo de vehículo en segmento en un solo carril (cuello de botella):
 - Autos y motocicletas 25 km/h
 - Camiones y buses 20 km/h.
 - Velocidad deseada en áreas de reducción de velocidad por tipo de vehículo en zona de pavimento dañado (Ver capítulo 3.1.1):
 - Autos y motocicletas 17 km/h
 - Camiones y buses 17 km/h.
- Demanda (volúmenes de entrada del modelo)

Los datos de entrada del modelo se obtuvieron de los aforos de campo durante la hora pico, la cual se encontró correspondía al periodo de 6:45 a.m. a 7:45 a.m. En la Tabla 14 se muestra el resumen de los volúmenes en la hora pico y que fueron utilizados como insumos para las entradas de volumen del modelo.

Tabla 14. Resumen de volúmenes vehiculares en los puntos de aforo.

Ubicación	Tipo de Vehículo				Total
	Automóviles	Motos	Buses	Camiones	
Avenida Circunvalar (cuello de botella)	922	200	81	35	1238
Enlace carrera 46	351	105	5	6	467
Ramal carrera 51b	229	66	3	2	300
Ramal salida hacia cra 46	166	49	3	2	220
Circunvalar debajo del puente de la 51b	970	208	87	37	1302

Fuente: Andrades et al. (2013)

- Parámetros de los modelos que usa el software para representar la capacidad.
El análisis de un cuello de botella implica el estudio de una zona con una reducción en su capacidad vial, por lo tanto es importante que el modelo logre replicar los valores de

capacidad medidos en campo. La experiencia ha enseñado que lo más importante es reproducir los volúmenes que se presentan en el cuello de botella (Dowling et al., 2004).

En Vissim la capacidad vial se da como resultado no de un valor ingresado por el usuario, sino como un producto de la interacción entre vehículos resultante de los parámetros de calibración del modelo de seguimiento vehicular (Wiedermann & Reiter, 1970) y de cambio de carril (Sparmann, 1978). Vissim utiliza además dos variaciones del modelo de Wiedermann denominadas como Wiedermann 74 y Wiedermann 99 (PTV, 2012). El primer modelo es idóneo para tráfico urbano y zonas de entrecruzamiento y el segundo principalmente para autopistas.

La elección de los parámetros a calibrar dentro del modelo, de manera que se representara la capacidad medida en campo fueron los siguientes:

- Distancia espacial media entre vehículos en detención: Representada en Vissim mediante la variable ax . Tiene una variación entre -1.0 m y +1.0 m que es normalmente distribuida en torno a 0.0 m con una desviación estándar de 0.3 m (PTV, 2012).
- Tiempo de reacción del conductor: se está definido en el software como la máxima tasa de desaceleración y aceleración.
- Brecha crítica para cambio de carril: El parámetro que la controla es el Factor de reducción de la distancia de seguridad. Éste toma en cuenta los siguientes parámetros: La distancia de seguridad del vehículo siguiente en el nuevo carril para la decisión de cambiar de carril o no, la distancia de seguridad propia durante un cambio de carril y la distancia al primer vehículo que cambia de carril (más lento).(PTV, 2012).
- Separación mínima bajo condiciones de detención y arranque: Se representa mediante la variable correspondiente a la parte aditiva de la distancia de seguridad deseada (bx_add) y aquella referente a la parte multiplicativa de la distancia de seguridad deseada (bx_mult).

Con base a lo anterior se realizó una sensibilización de los parámetros de calibración de Vissim, teniendo como objetivo que el flujo en el cuello de botella simulado fuera cercano al valor medido de 1238veh/h (Tabla 14). Como herramienta estadística para comprobar la

“bondad de ajuste” del valor encontrado se utiliza el parámetro GEH (Smith & Blewitt, 2010), el cual se recomienda sea menor a 3 en aquellos arcos de relevancia para el modelo. El estadístico GEH se calcula de acuerdo con la siguiente formula:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M-C)^2}{(M+C)}} \quad (14)$$

Donde,

M= Flujo modelado

C= Flujo observado

Se realizaron alrededor de siete corridas del modelo hasta que el volumen vehicular en el cuello de botella cumpliera con **GEH <3**. Se cambiaron los parámetros correspondientes a **ax**, **bx_add**, **bx_mult** y el factor de reducción de seguridad en el cambio de carril. Los valores de aceleración y desaceleración de los vehículos se dejaron en los parámetros por defecto ya que se ha demostrado que estos representan de manera adecuada el comportamiento de los vehículos de la región (Suarez, 2007).

Tabla 15. Cálculo del GEH para los distintos modelos durante el proceso de calibración

Modelo	ax	bx_add	bx_mult	Factor de reducción de seguridad	Flujo	GEH
1	2	2	3	0,6	834,3	12,54
2	1,68	2	3	0,6	857	11,77
3	1	2	3	0,6	901,4	10,29
4	0,5	2	3	0,6	954	8,58
5	2	1,5	2,5	0,6	936	9,16
6	1,5	1	2	0,5	1113,8	3,62
7	0,5	1	2	0,3	1187,2	1,46

Después de siete corridas combinando los parámetros anteriormente mencionados, a partir cálculo del GEH se encontró que el modelo que mejor replicaba la capacidad medida en campo era el número 7 (Ver Tabla 15), con un GEH=1.46. De acuerdo con esto los parámetros que

calibran al modelo por capacidad son:

- Distancia media en detención (ax): 0.5
 - Parte aditiva de la distancia de seguridad deseada (bx_add): 1.0
 - Parte multiplicativa de la distancia de seguridad deseada (bx_mult): 2.0
 - Factor de reducción de distancia de seguridad: 0.30
- Indicadores de gestión para la calibración (demoras, tiempo de viaje y colas)
Para finalizar la calibración y verificar que el modelo representara de manera adecuada los impactos que la reducción en la capacidad genera, se realizaron comparaciones entre los perfiles de velocidad obtenidos en campo (Figura 21) con los arrojados utilizando carros flotantes en el modelo. Adicionalmente, se compararon los valores de colas y demoras medidos en campo.

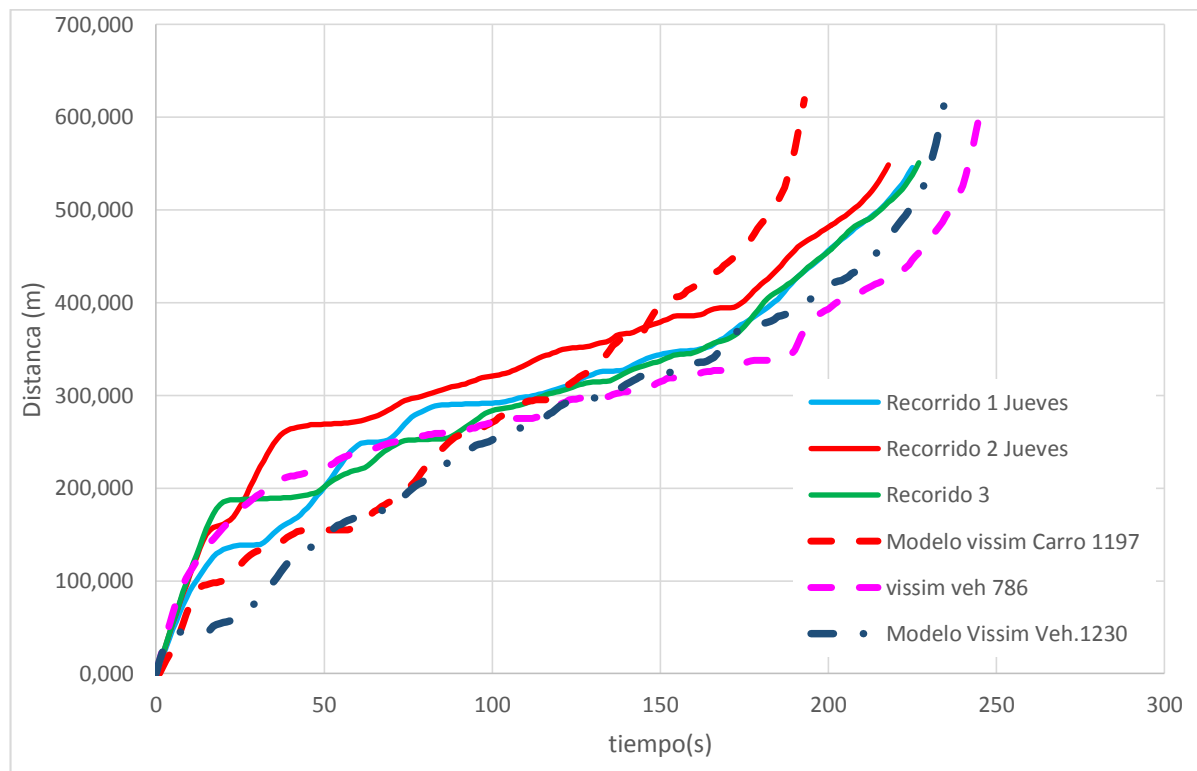


Figura 25. Grafica comparación velocidad-espacio. Modelo vs datos de campo

Se puede observar que los perfiles de velocidad obtenidos mediante el método del “vehículo flotante” en campo, son muy similares a los representados en el modelo lo que demuestra que el proceso de seguimiento vehicular y las restricciones de velocidad están representadas de manera adecuada. De estas gráficas también se puede determinar que las demoras de los vehículos fueron muy similares.

También se realizó una comparación de los resultados de las colas y demoras medidas en campo contra los datos obtenidos con el modelo de micro-simulación, obteniéndose resultados muy cercanos que validan que el modelo se encuentra correctamente calibrado en cuanto al comportamiento en el cuello de botella (ver Tabla 18).

Tabla 16. Resumen estadístico de datos de demoras arrojados por el modelo seleccionado

<i>Demoras</i>	
Media	135,06
Error típico	6,23
Mediana	136,5
Desviación estándar	19,70
Varianza de la muestra	387,94
Curtosis	0,63
Coefficiente de asimetría	0,38
Mínimo	110,6
Máximo	171,3
Suma	1350,6

Tabla 17. Resumen de estadísticas para los datos de colas arrojadas por el modelo

<i>Cola Promedio</i>	
Media	221,93
Error típico	9,96
Mediana	228,70
Desviación estándar	31,48
Varianza de la muestra	991,15
Curtosis	-1,34
Coefficiente de asimetría	0,01
Mínimo	179,30
Máximo	269,20

Suma	2219,30
Cuenta	10,00

Tabla 18. Comparación de colas y demoras del modelo vs medidas de campo.

INDICADOR DE GESTION	VISSIM	CAMPO
Cola media	221,93	266,93
Cola máxima	456	469,2
Demora media	135,06	108,33

Al comparar los resultados del modelo de micro-simulación calibrado con los datos de campo podemos apreciar que existe un aceptable grado de semejanza, lo cual nos permite concluir que el modelo se encuentra calibrado para las condiciones locales y representa adecuadamente los fenómenos originados en cuellos de botella ocasionados por obras viales.

3.3 Diseño y desarrollo del experimento

Dado que uno de los objetivos de la presente investigación es realizar recomendaciones para una adecuada operación del tráfico en cuellos de botella, se procedió a diseñar un experimento para obtener los resultados de velocidades, demoras, colas, y capacidades frente a diferentes escenarios de infraestructura física instalada y volumen vehicular. Usando el modelo de micro-simulación calibrado para las condiciones locales, es posible simular los efectos que se obtendrían ante diferentes configuraciones de flujo y del cuello de botella.

Inicialmente se procedió a identificar en la literatura las variables que podían influir en el comportamiento del flujo vehicular cuando existe una reducción de capacidad sobre una vía. Un interesante referente es el trabajo de Hallmark et al. (2011), quienes identificaron los siguientes factores incidentes en la capacidad y operación sobre vías donde existen obras (zonas de trabajo):

- Configuración de la zona en obra: Esto incluye variables como número de carriles,

número de carriles en servicio, localización de los carriles abiertos o cerrados, geometría como por ejemplo curvas, pendientes, anchos de carriles, etc.

- Familiaridad de los conductores: Conductores que tengan mayor conocimiento del sector y por ende de la zona en obra tienden a tener un mejor comportamiento debido a su experiencia.
- Comportamiento durante el movimiento de convergencia: El comportamiento del flujo es afectado de acuerdo con la posición en que los vehículos inician su movimiento de cambio de carril para ingresar al cuello de botella.
- Control policivo: Kamyab et al. (2003), indica que un mayor control por parte de las autoridades de tránsito puede mejorar el flujo de tráfico en sitios en obras.
- Características del tráfico: Porcentaje de camiones y su longitud pueden afectar la operación en zonas en obra.

Se decidió que en el diseño del experimento se modificarían los siguientes atributos (ver Figura 26):

- Longitud del cuello de botella (L_2)
- Longitud de la transición (L_1)
- Volumen vehicular (flujo)
- Composición vehicular, medido como el porcentaje de vehículos pesados
- Configuración de la reducción de capacidad (2:1 – reducción de 2 carriles a 1 carril–, 3:2, 3:1).

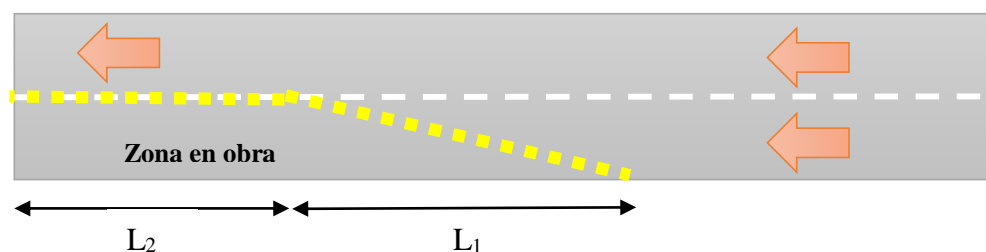


Figura 26. Atributos usados en el diseño de experimentos

Para desarrollar el diseño experimental se decidió asignar 4 niveles de variación al atributo L_1 debido a que se considera que el comportamiento del cuello de botella es muy sensible a su

variación y 3 niveles de variación al resto de los atributos considerados, es decir a L_2 , Flujo , Composición Vehicular y Configuración de la reducción. Lo anterior generó un diseño factorial completo $3^4 \times 4$ que contiene 324 tratamientos. Para simplificar el experimento se decidió utilizar un diseño fraccional del diseño factorial completo, que además cumpliera con el criterio de ortogonalidad el cual permite que las combinaciones de atributos varíen independientemente una de los otros y se identifiquen más fácilmente los efectos de las mismos sobre el resultado. El diseño experimental utilizado corresponde al *Master Plan* No. 5 (Kocur et al., 1982), el cual tiene 16 combinaciones de los atributos seleccionados.

Adicionalmente, con el fin de otorgarle mayor variabilidad al experimento se decidió generar 4 diseños experimentales cambiando los niveles de variación de los atributos estudiados. Teniendo en cuenta que se variaron 4 veces los niveles de los atributos y el número de tratamientos por diseño experimental fue de 16, el número total de combinaciones a simular fue 64. Las tablas se pueden encontrar en el Anexo 2.

Los valores para los distintos niveles fueron seleccionados con base en la experiencia de distintos autores y a las normas vigentes. El nivel máximo para el atributo de la longitud en obra (L_2) se tomó como 100 m debido a que a nivel urbano es equivalente a cerrar un carril a lo largo de una cuadra completa. Para la distancia de transición (L_1) se tomó como referencia máxima la recomendación que se encuentre en la tabla 6.2 del Manual de diseño geométrico de INVIAS 2008, el cual establece que la longitud mínima de un carril de desaceleración para una velocidad desde 60km/h tiene un máximo de 90m (INVIAS, 2008). Para el volumen de vehículos por carril y el volumen de vehículos pesados, se tomó un valor máximo de 1300veh/carril/hora tomado en relación al valor de la capacidad vial encontrada en las mediciones realizadas en campo, y con un máximo 30% de vehículos pesados (buses y camiones), los cuales corresponden a valores comunes para el contexto regional a nivel urbano. El resumen de los niveles de variación para cada atributo se muestra en la tabla 19.

Por último, las características que son intrínsecas al comportamiento de los conductores (familiaridad de los conductores y comportamiento durante los movimientos de convergencia) se mantuvieron constantes de acuerdo a la calibración descrita en el capítulo 3.2, pues hacen

parte del modelo de seguimiento y cambio de carril del software Vissim®.

Tabla 19. Valores asignados a los niveles para las distintas variables dentro del experimento

	L1 (m)	L2 (m)	VEH PESADOS (%)	FLUJO (Veh/h)	CONFIGURACION
Valor del Nivel	2	3	4	5	6
0	60	100	30	1200	3:1
1	45	50	20	900	2:1
2	30	25	10	600	3:2
3	15	NA	NA	NA	NA

VALORES DE LOS NIVELES PARA SWAPPING1

	L1 (m)	L2 (m)	VEH PESADOS (%)	FLUJO (Veh/h)	CONFIGURACION
Valor del Nivel	2	3	4	5	6
0	55	90	27	1150	3:2
1	40	45	18	850	2:1
2	25	22	9	550	3:1
3	10	NA	NA	NA	NA

VALORES DE LOS NIVELES PARA SWAPPING2

	L1 (m)	L2 (m)	VEH PESADOS (%)	FLUJO (Veh/h)	CONFIGURACION
Valor del Nivel	2	3	4	5	6
0	70	70	21	1100	2:1
1	50	35	14	800	3:2
2	35	18	7	500	3:1
3	20	NA	NA	NA	NA

VALORES DE LOS NIVELES PARA SWAPPING3

	L1 (m)	L2 (m)	VEH PESADOS (%)	FLUJO (Veh/h)	CONFIGURACION
Valor del Nivel	2	3	4	5	6
0	80	40	15	1000	3:2
1	75	25	10	700	3:1
2	45	13	5	400	2:1
3	20	NA	NA	NA	NA

Fuente: Elaboración propia

4 RESULTADOS

En esta sección se presenta el análisis de los resultados luego de correr el modelo de micro-simulación calibrado variando los atributos de la configuración de los cierres viales y las condiciones de flujo de acuerdo a lo indicado por el diseño experimental que se presentó en la sección anterior. A partir de los datos obtenidos y usando técnicas econométricas se buscó estimar relaciones que permitieran predecir los efectos sobre la capacidad, las demoras, las colas y las emisiones cuando se tienen diferentes configuraciones de los cierres viales y distintos escenarios de flujo vehicular.

4.1 Estimación del modelo de capacidad.

Inicialmente se calculó la capacidad de la vía para cada una de las configuraciones de reducción de carriles. Para ello, se corrió el modelo con un volumen de 5000 veh.eq/hora de manera que se excediera la capacidad (Ver Figura 27). De acuerdo a estudios previos (Chatterjee, 2008) se estimó que el flujo máximo es de 2000veh.eq/hora/carril. Las corridas del modelo se realizaron para todas las configuraciones geométricas de cierre de carril incluidas en el diseño experimental de manera que se pudiera estimar si existía alguna influencia de las mismas sobre la capacidad. Además solo se utilizaron vehículos livianos para poder expresar la capacidad en vehículos equivalentes. En la Tabla 20 se muestran los resultados obtenidos de una regresión aplicada a los resultados del modelo de micro-simulación.



Figura 27. Pantalla de modelación para estimación de la capacidad en un cierre 3: 1

Tabla 20. Regresión de los valores para estimación de la capacidad

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	p-valor
Intercepto	1748,87	2,97	587,00	0,00
2 a 1	19,86	2,47	8,03	0,00
3 a 2	1837,51	2,60	706,06	0,00
L1	-0,02	0,05	-0,49	0,62
L2	-0,01	0,01	-0,62	0,53

Como se puede observar, los parámetros L1 y L2 no son significativos en la regresión realizada. De lo anterior, se infiere que la capacidad de los cuellos de botellas sólo depende del número de carriles aguas arriba y los carriles habilitados aguas abajo. Por lo tanto, la capacidad estimada para cada configuración de cierre de carriles en vías se puede representar de acuerdo con los valores de la Tabla 21. Para todos los casos, se encontró que la capacidad de las vías es cercana a los 1770 veh-eq/hr/carril (carriles de 3.65m de ancho y presencia de berma).

Tabla 21. Valores de capacidad para diferentes configuraciones de cierre

Configuración del cierre	Capacidad (Veh. Eq./h)
2 a 1	1769
3 a 1	1749
3 a 2	3586

4.2 Modelos para demoras y colas

Con el objetivo de predecir demoras y colas que se esperan al tener diferentes escenarios de cierre de carril y flujo, se estimaron diferentes modelos econométricos a partir de los resultados de la aplicación del modelo de micro-simulación calibrado. Los resultados en términos de demoras y colas de las corridas de dicho modelo ante los diferentes escenarios indicados en el diseño experimental se compilaron y organizaron (ver anexo 3) de manera que estos pudieran ser comparados con los datos de demoras y colas de la situación sin cuello de botella. Para la estimación y ajuste de los modelos se utilizó el software Minitab®.

4.2.1 Demoras

Se probaron varias formas funcionales con el fin de seleccionar aquella relación entre atributos y parámetros que presentara el mejor ajuste respecto a los datos arrojados por el software. Dado que las demoras son el resultado de una disminución de la velocidad deseada debido a restricciones que se generan cuando el volumen vehicular que entra al cuello de botella se acerca a la capacidad de la vía, se decidió incorporar la relación volumen/capacidad (V/C) como un atributo relevante de la modelación. En la tabla 23 se presentan las diferentes formas funcionales que fueron estimadas para representar las demoras generadas por el cuello de botella en función de diferentes atributos geométricos y de flujo.

De la Tabla 22 se puede observar que el modelo que presentó menor error estándar (S) es el de la forma BPR, la cual es una función de congestión cuya forma fue derivada por el “Bureau of Public Roads” ajustando una ecuación polinómica a una curva velocidad-flujo (Mtoi & Moses, 2014). En esta ecuación los signos son consistentes con el comportamiento esperado para los parámetros. El coeficiente β_4 relacionado con la longitud del cuello de botella no es significativo dentro de la ecuación.

Tabla 22. Modelos de demoras de acuerdo con los datos de micro-simulación

Tipo de Ecuación	Modelo	Valores de los coeficientes (Valor de la Prueba T)					n	Error Estándar (seg)
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4		
BPR	$d = (\beta_1 * VI + \beta_2 * Vp + \beta_3 * L_1 + \beta_4 * L_2)^n$	NA	6.15 (21.17)	7.53 (14.98)	-0.017 (-5.87)	0.0009 (1.32)	3.05 (51.71)	100.29
Lineal	$d = \beta_0 + \beta_1 * VI + \beta_2 * Vp + \beta_3 * L_1 + \beta_4 * L_2$	-854.7 (-19.4)	910.8 (24.79)	1975 (16.32)	1.56 (2.37)	0.31 (1.66)	NA	188.64
Exponencial	$d = e^{(\beta_0 + \beta_1 * VI + \beta_2 * Vp + \beta_3 * L_1 + \beta_4 * L_2)}$	3,33 (36.2)	2.32 (36.43)	2.32 (27.12)	-0.007 (-5.90)	0,0007 (2.20)	NA	137.83

d, demoras (segundos)
 VI, Relación vehículos Livianos/Capacidad.
 Vp, Relación vehículos pesados/Capacidad.
 L₁, Longitud de la transición.
 L₂, Longitud del cuello de botella.

En las ilustraciones 28 a 30 se observa la relación que existe entre las demoras y las distintas

configuraciones de longitud de transición respecto al número de vehículos equivalentes cuando se realizan cierres de uno o dos carriles sobre vías que tienen entre 3 y 2 carriles. Se observa que a mayor longitud de transición, las demoras disminuyen. Dichas ilustraciones son útiles para estimar la demora esperada ante diferentes niveles de flujo, número de carriles cerrados, y longitud de transición del cuello de botella.

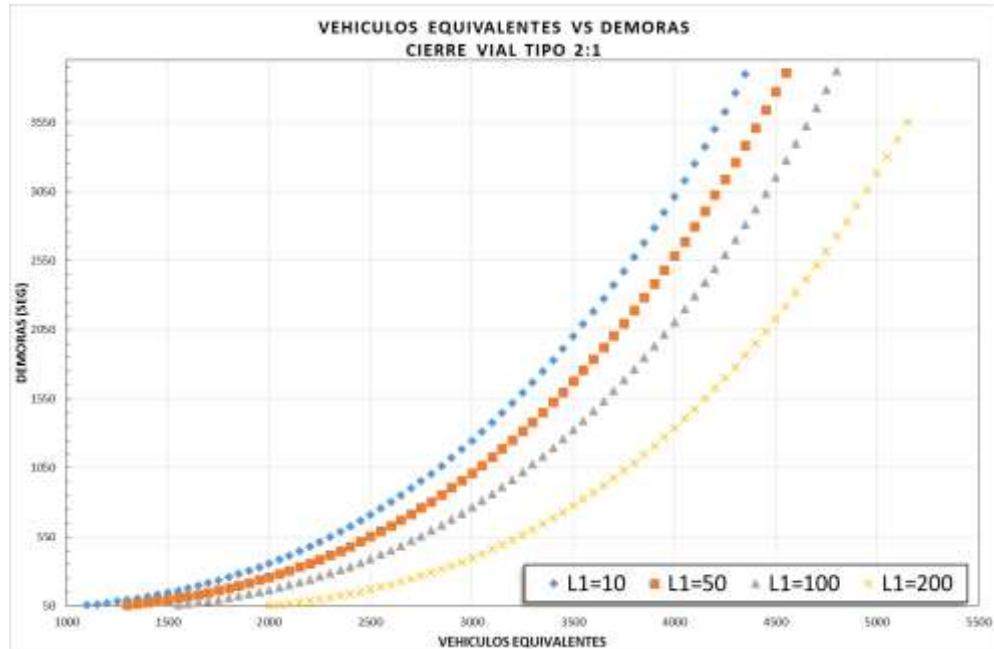


Figura 28. Demoras para un cierre 2:1 Modelo Tipo BPR

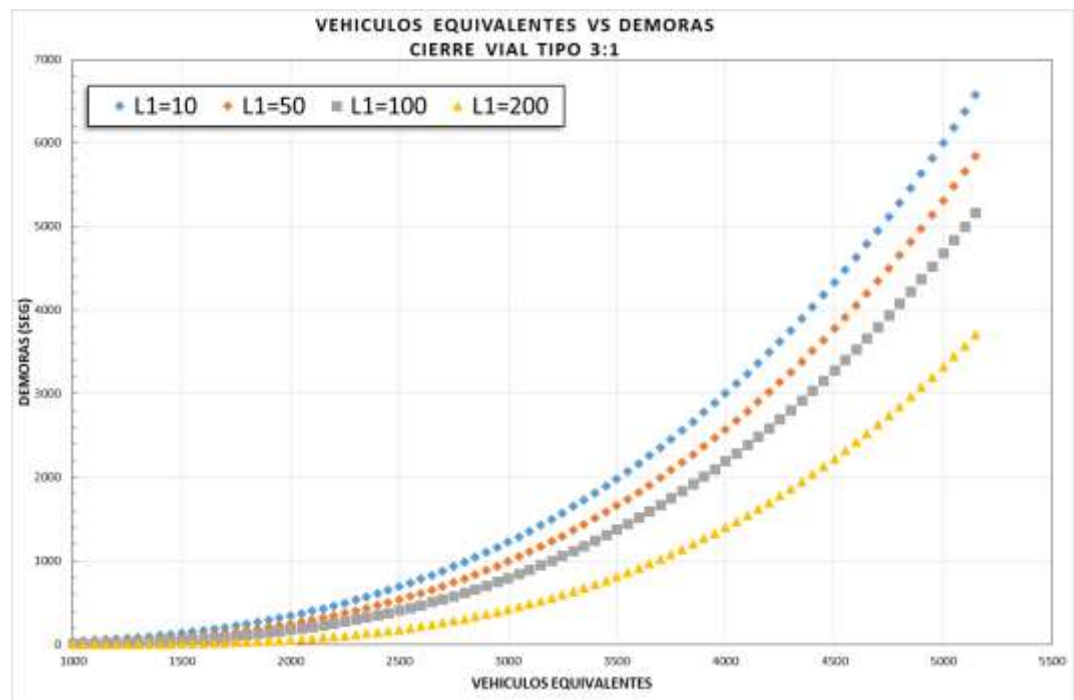


Figura 29. Demoras para un cierre 3:1-Modelo Tipo BPR

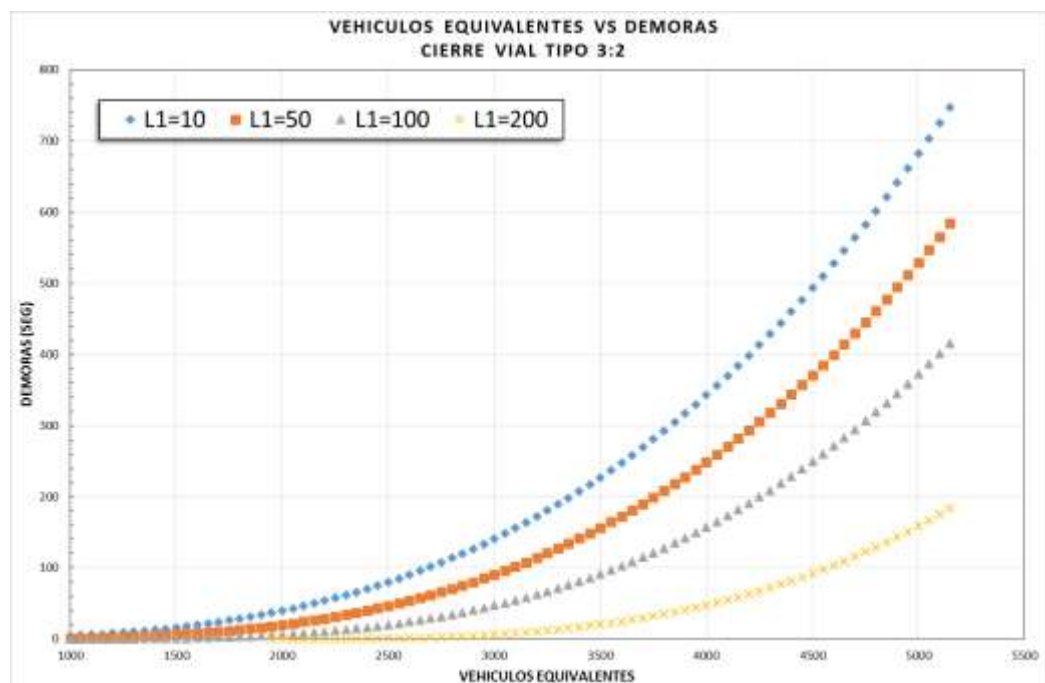


Figura 30. Demoras para un cierre 3:2 – Modelo Tipo BPR

4.2.2 Colas promedio

En el caso de las colas promedio, el modelo que presenta mejor comportamiento y menor error estándar es el BPR como se aprecia en la Tabla 23. La variable L_2 , correspondiente a la longitud de la zona con la restricción de carril, no es representativa de acuerdo con la prueba t de Student. El resto de coeficientes presentan signos que se ajustan a las observaciones de campo y a las expectativas a priori del modelador.

En las ilustraciones 31 a 33 se puede observar la influencia que tiene la longitud de transición en las colas, observándose que la longitud de las colas esperadas disminuye cuando la longitud de transición del cuello de botella es mayor. Lo anterior sugiere que si se quieren disminuir las colas en un cierre de carril, se debe optar por configurar cuellos de botella con longitudes de transición lo suficientemente largas.

Tabla 23. Modelos de cola promedio de acuerdo con los datos de micro-simulación

		Valores de los coeficientes (Valor de la Prueba T)						Error Estandar (m)
Tipo de Ecuación	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	n	
BPR	$q = (\beta_1 * VI + \beta_2 * Vp + \beta_3 * L_1 + \beta_4 * L_2)^n$	NA	4.39 (14.53)	6.25 (9.73)	-0.014 (-3.84)	0.0008 (0.96)	3.45 (30.09)	152
Lineal	$q = \beta_0 + \beta_1 * VI + \beta_2 * Vp + \beta_3 * L_1 + \beta_4 * L_2$	-785.1 (-14.10)	768.2 (16.51)	1963 (12.81)	1.44 (1.73)	0.24 (1.04)	NA	238.9
exponencial	$q = e^{(\beta_0 + \beta_1 * VI + \beta_2 * Vp + \beta_3 * L_1 + \beta_4 * L_2)}$	2.83 (19.56)	2.47 (24.87)	2.95 (24.46)	-0.0085 (-4.35)	0.0005 (1.12)	NA	168

Q, cola promedio (m)
 VI, la relación vehículos Livianos/Capacidad.
 Vp, Coeficiente para la relación vehículos pesados/Capacidad.
 L₁, Longitud de la transición.
 L₂, Longitud del cuello de botella.

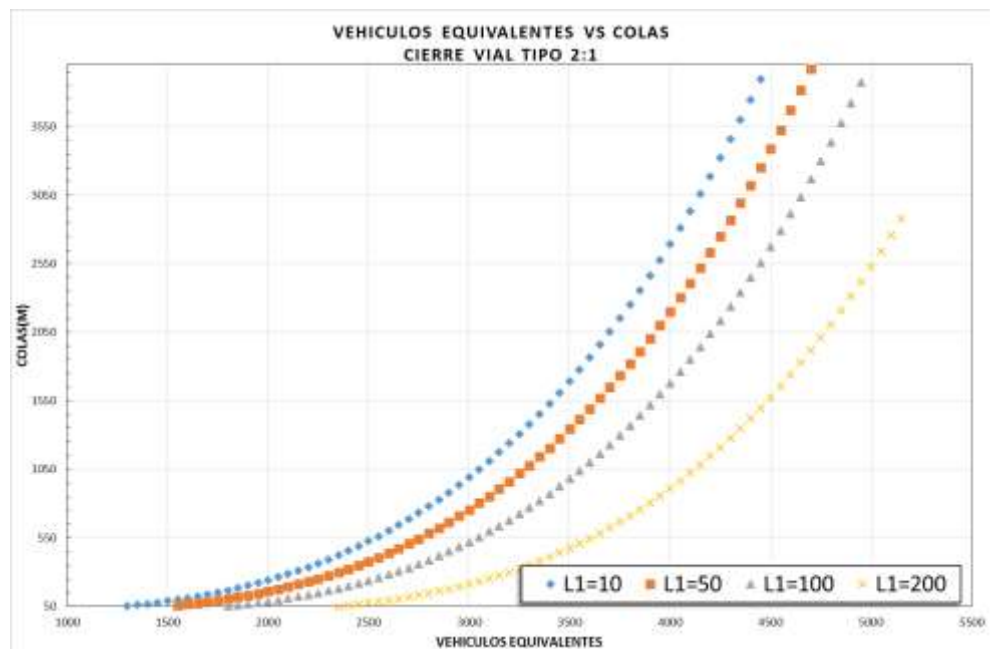


Figura 31. Colas para un cierre 2:1 - Modelo Tipo BPR

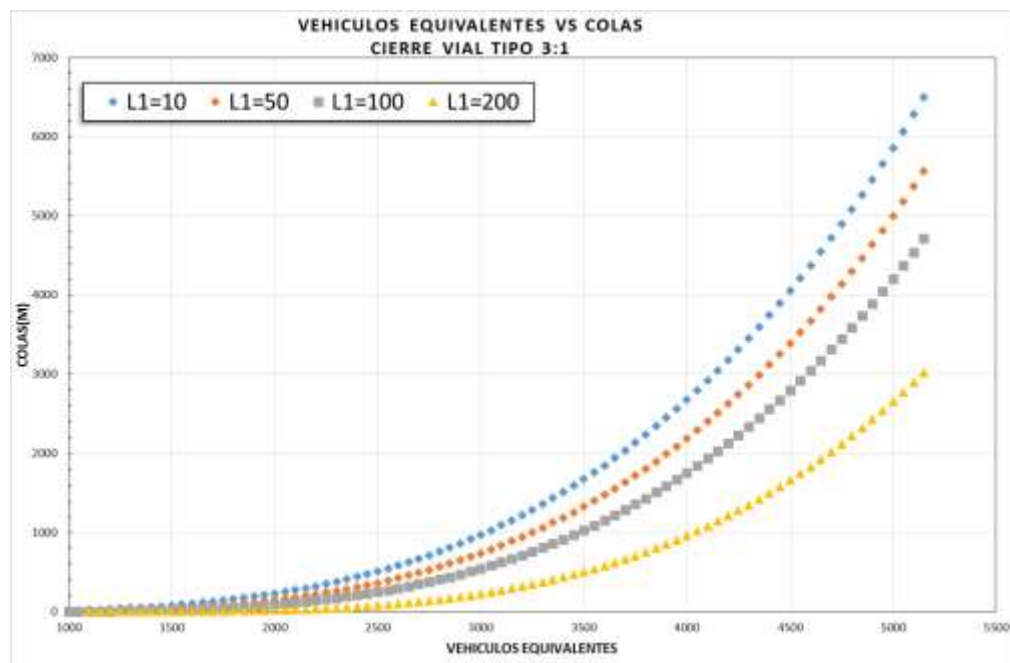


Figura 32. Colas para un cierre 3:1 – Modelo Tipo BPR

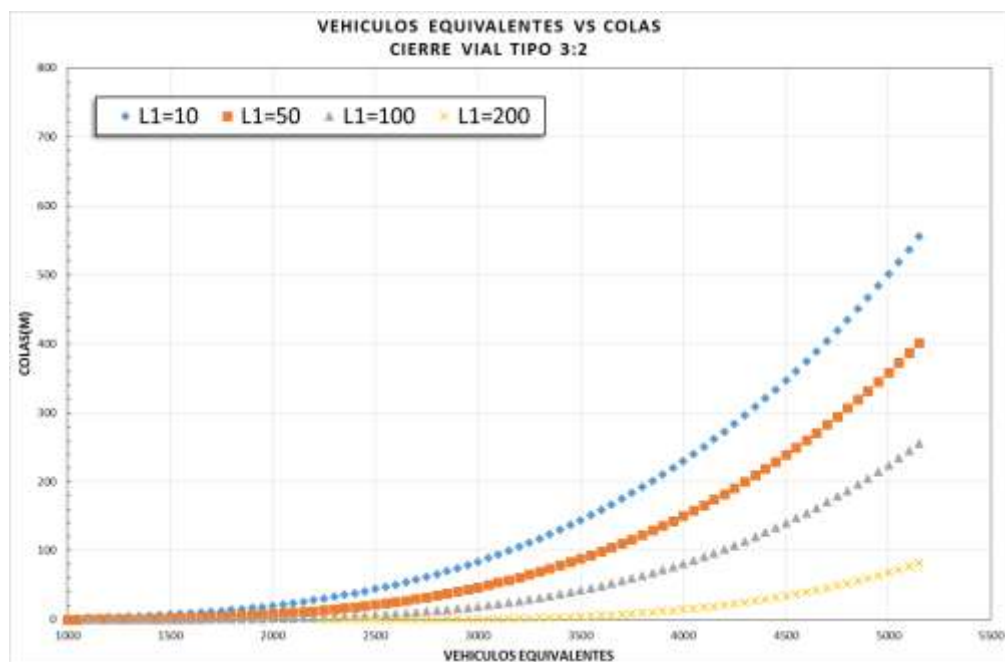


Figura 33. Colas para un cierre 3:2 – Modelo tipo BPR

Basándonos en los modelos obtenidos de las simulaciones, se prepararon las tablas 24 a 26, que permiten estimar la longitud de transición (L1) requerida para garantizar un cierto Nivel de Servicio para diferentes condiciones de tráfico.

Tabla 24. Longitud L1 requerida para garantizar un nivel de Servicio en un cierre 2:1

CIERRE TIPO 2:1												
Nivel de Servicio esperado	E (demoras<50seg)				D (demoras<35seg)				C (demoras<25seg)			
%PESADOS	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
Veh. mix /h	Longitud de transición (m)/cola esperada(m)											
1100	18/25	23/27	28/28	33/30	41/15	46/17	51/18	56/19	61/10	66/10	71/11	76/12
1300	59/22	64/24	70/26	76/28	82/14	88/15	94/16	100/18	102/8	108/9	114/10	120/11
1500	99/20	106/22	113/24	120/26	123/12	130/13	137/15	143/16	143/7	149/8	156/9	163/10
1700	140/18	148/20	156/22	164/24	164/10	172/12	179/13	187/15	183/6	191/7	199/8	207/9
1900	181/16	190/18	199/20	207/23	205/9	213/10	222/12	231/14	224/5	233/6	242/7	251/8
2100	222/14	232/16	241/18	251/21	246/8	255/9	265/11	274/13	265/4	275/5	285/6	294/8

Tabla 25. Longitud L1 requerida para garantizar un nivel de Servicio en un cierre 3:1

CIERRE TIPO 3:1												
Nivel de Servicio esperado	E (demoras<50seg)				D (demoras<35seg)				C (demoras<25seg)			
%PESADOS	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
veh mix /h	Longitud de transición (m)/cola esperada(m)											
1100	20/25	25/26	30/28	36/30	44/15	49/16	54/18	59/19	63/10	68/11	74/11	79/12
1300	62/22	68/24	74/26	80/28	85/14	91/15	97/16	103/18	105/8	111/9	117/10	123/11
1500	103/20	110/22	117/24	124/26	126/12	133/13	140/15	147/16	146/7	153/8	160/9	167/10
1700	144/18	152/20	160/22	168/24	168/10	176/12	183/13	191/15	187/6	195/7	203/8	211/9
1900	186/16	194/18	203/20	212/22	209/9	218/10	227/12	236/14	229/5	238/6	246/7	255/8
2100	227/14	237/16	247/18	256/21	250/8	260/9	270/11	280/12	270/4	280/5	290/6	299/8

Tabla 26. Longitud L1 requerida para garantizar un nivel de Servicio en un cierre 3:2

CIERRE TIPO 3:2												
Nivel de Servicio esperado	E (demoras<50seg)				D (demoras<35seg)				C (demoras<25seg)			
%PESADOS	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
veh mix. /h	Longitud de transición (m)/cola esperada(m)											
1100	15/25	20/27	25/28	30/30	38/25	43/27	48/28	53/30	58/10	63/11	68/11	73/12
1300	35/24	40/26	46/27	51/29	58/24	64/26	69/27	74/29	78/9	83/10	89/11	94/12
1500	55/23	61/24	67/26	73/28	78/23	84/24	90/26	96/28	98/9	104/9	110/10	116/11
1700	75/21	81/23	88/25	94/27	99/21	105/23	111/25	118/27	118/8	125/9	131/10	137/11
1900	95/20	102/22	109/24	116/26	119/20	126/22	132/24	139/26	138/7	145/8	152/9	159/10
2100	115/19	123/21	130/23	137/25	139/19	146/21	153/23	161/25	159/7	166/8	173/9	180/10

4.2.3 Modelos de consumo adicional de combustible y generación de emisiones

Los impactos en términos de consumo adicional de combustible y emisiones de los vehículos debido a la implementación de un cuello de botella también fueron analizados a partir de los resultados de los diferentes escenarios simulados con el modelo de micro-simulación calibrado. Se aprovechó que el software utilizado, Vissim[®], permite evaluar las siguientes emisiones: Cantidad de Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Nitrógeno (NOx) y Compuestos orgánicos volátiles (COV).

Para fines de evaluación de las emisiones y los consumos de combustible, inicialmente se corrieron modelos base sin afectación de obras, es decir, sin los cierres viales. Se corrieron

escenarios con calzadas de dos y tres carriles, variando el tráfico, y el porcentaje de vehículos pesados de acuerdo con los valores definidos en el diseño experimental. Los resultados se compararon con las emisiones y los consumos de combustible obtenidos al correr los mismos escenarios bajo el efecto del cierre de uno o dos carriles. En las tablas 27 y 28 se presentan los modelos matemáticos obtenidos, buscando predecir el impacto tanto porcentual como absoluto que los cierres viales tienen sobre las emisiones y el consumo de combustible. Cabe aclarar que las emisiones se obtuvieron como un resultado de las demoras generadas debido al cuello de botella.

Se estimaron diferentes modelos econométricos donde se encontró que el porcentaje de aumento de emisiones y consumo de combustible generado por el cierre de carriles se comporta linealmente en relación con las demoras. Además, este aumenta de la misma manera para todos los gases (CO, NO_x, COV) y aun para el combustible, posiblemente por el modelo que utiliza el software para calcular emisiones. Del modelo de regresión encontrado (ver tabla 27), se puede observar que el valor del intersepto (β_0) es de 0.57 lo que significa que existe un 57% de aumento en las emisiones o el consumo de combustible aun cuando las diferencias en las demoras sean cero. Esto se explica debido a que así no haya un aumento en las demoras, se da una disminución en la velocidad de los vehículos debido a las señales preventivas, los cuales generan un aumento en el consumo de combustible y en la generación de emisiones.

El análisis del cambio en los valores absolutos en relación a la demora mostró un comportamiento de acuerdo con curvas tipo BPR, como se puede observar en la Tabla 28.

Tabla 27. Modelo para porcentaje de aumento de NOx, CO, COV y combustible

Tipo de Ecuación	Valores de los coeficientes		
	(test t)		
	$\%Gas = 100 \times (\beta_0 + \beta_1 * d)$		
	β_0	β_1	Error Estándar (%)
Lineal	0.57 (76.93)	0.00145 (107.70)	0.1134

$\%Gas$, Porcentaje de aumento de emisiones y consumo de combustible (%)
 d = demoras Totales con cierre (s) – demoras Totales Modelo Base (s)

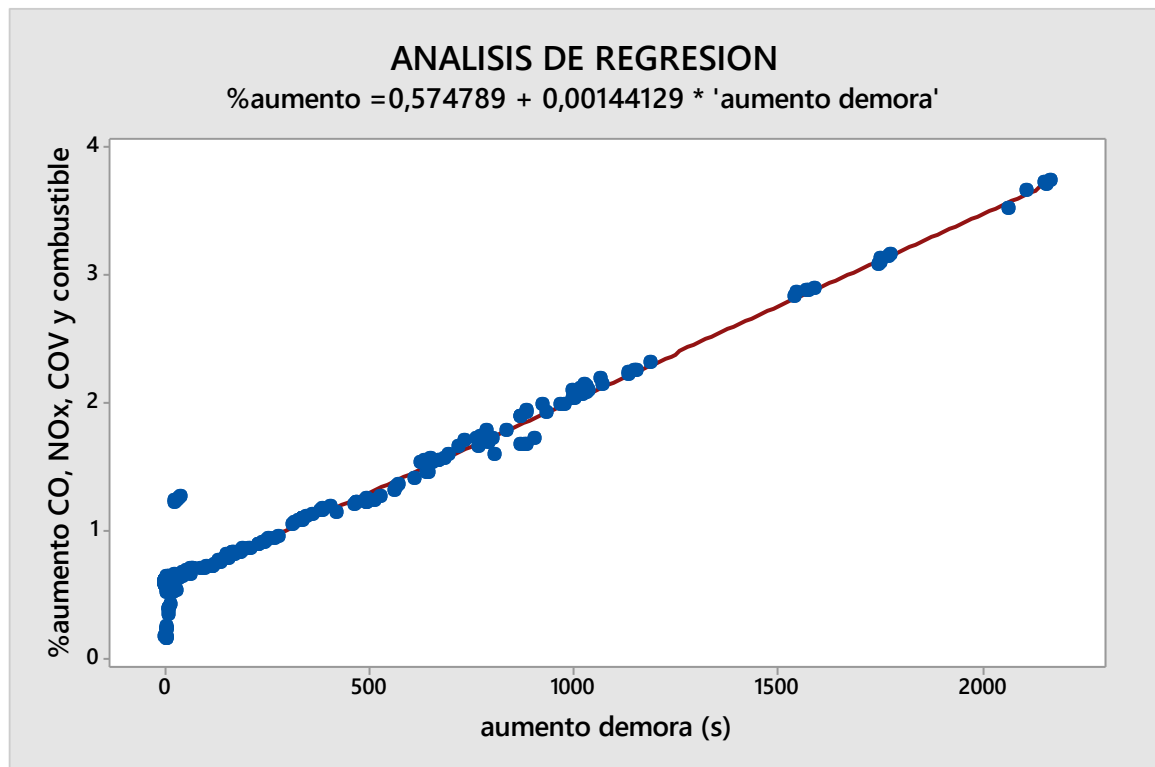


Figura 34. Grafica de regresión para modelo lineal de %aumento de emisiones

Tabla 28. Modelo de aumento en las emisiones y en consumo de combustible.

y	Valores de los coeficientes (test t) $y = (\beta_0 + (\beta_1 * d)^n)$			Error Estándar
	β_0	β_1	n	
CO (g)	16667,5 (40.40)	3,242 (7.08)	1,36725 (63.63)	5699,71g
NOx (g)	3242,88 (40.40)	0.98 (8.34)	1,36725 (61.71)	1108,96g
COV (g)	3862,85 (40.40)	1.11 (8.17)	1,37 (61.71)	1320,96g
COMBUSTIB LE (gal)	637.35 (46.40)	0.177 (5.39)	1,345 (30.49)	189.15gal

d = demoras totales con cierre (s) – demoras totales Modelo Base (s)

5 CONCLUSIONES

La investigación acerca de los efectos que tienen los cierres viales de carriles sobre la movilidad y aspectos socio-ambientales se realizó con la ayuda de un software de micro-simulación que permitió el análisis de diferentes escenarios de flujo y configuraciones geométricas del cuello de botella. A partir de los resultados de modelación se logró concluir que diferentes configuraciones geométricas, volúmenes y tipos de vehículos tienen efectos diversos sobre las demoras, longitudes de cola, emisiones de gases y consumo de combustible cuando se implementa un cierre vial. Debido a lo anterior, la forma en que se configure un cierre vial tendrá repercusiones importantes tanto en el tráfico como en las emisiones que se generen producto del cierre.

En particular, se encontró que los vehículos pesados tienen mayor incidencia en las demoras y colas generadas en un cuello de botella en relación con los vehículos livianos. El software de microsimulación puede representar esto de manera adecuada ya que dentro de su modelo existe una incidencia de la geometría y potencia de los distintos vehículos.

El modelo de regresión que mejor representó el comportamiento de las demoras y colas, es del tipo BPR. La longitud del cierre vial (L2), no fue significativa dentro de los análisis econométricos realizados para la generación de colas y demoras, sugiriendo que tiene poca incidencia en estos indicadores. Lo anterior se debe a que al ingresar al carril posterior a la transición, los vehículos estabilizan su comportamiento y pueden avanzar adecuadamente. Los mayores conflictos, que generan demoras, se generan antes y durante la longitud de transición. Los modelos evidenciaron la influencia que tiene la elección de la longitud de transición (L1) sobre las demoras y colas promedio. A mayores volúmenes de tráfico, una mayor longitud de transición mejora la movilidad y por ende los indicadores de comportamiento. Esta conclusión es muy importante ya que en obra se pueden dar recomendaciones sobre distintas longitudes de transición que optimizarían el comportamiento del tráfico durante su paso por el sitio en obra, dependiendo del número de carriles de la vía a intervenir, el número de carriles a cerrar, la disponibilidad de espacio vial, y el volumen de vehículos sobre la vía.

Otros de los aspectos de gran importancia en el análisis de los cuellos de botella fue la estimación del valor de la capacidad para las distintas configuraciones de cierre de carriles. Este valor depende del número de carriles habilitados y de la agresividad en la conducción vehicular. Los valores encontrados (ver Tabla 21) se pueden utilizar para diagnosticar y predecir que sitios tendrán problemas de acuerdo a las restricciones de capacidad y al tráfico existente.

En cuanto a los resultados obtenidos para la capacidad de los carriles en un cuello de botella, se encontró que la capacidad de un carril es ligeramente mayor para una configuración 2:1 en relación con una 3:1. La diferencia se debe a que el cambio de carril en una calzada de dos carriles es más ágil que en una de tres donde los vehículos que se mueven por los carriles externos tienen mayor dificultad en dirigirse al carril habilitado.

Los resultados de las modelaciones demuestran que un cuello de botella generado por obras, debido a las restricciones del mismo, genera un aumento en las emisiones de gases y el consumo de combustible. Del análisis de regresión se concluye que las emisiones aumentan en un 57% en sitios en obra donde no existe saturación y que en sitios donde se excede la capacidad el aumento es lineal en relación con los tiempos de demora. El aumento en la cantidad de emisiones y consumo de combustible en valores absolutos se incrementa en relación con el aumento en la demora siguiendo una curva tipo BPR.

Es necesario que futuras investigaciones estudien los efectos de las obras en vías con opción de escogencia de rutas alternas, que tengan en cuenta los efectos de las cercanías a intersecciones semaforizadas, y la presencia de tráfico mixto donde se puede destacar la influencia de motocicletas, bicicletas u otros vehículos en la capacidad, demoras, y colas. Otro caso a estudiar en futuras investigaciones es el caso donde existan cierres de carril en vías con flujo bidireccional sobre la misma calzada.

6 BIBLIOGRAFIA

- Andrades, R., Castro, A., Carbonell, A., Ruiz, J., Sanchez, A., Sierra, S., & Vilalba, D. (2013). Estudios del tráfico en la avenida circunvalar entre carrera 46 y 51b (sentido norte-sur). Barranquilla, Colombia: UNIVERSIDAD DEL NORTE.
- Barceló, J. (2010). *Models, Traffic Models, Simulation, and Traffic Simulation* (J. Barcelo Ed. Vol. International Series in Operations Research & Management Science). New York: Springer.
- Benekohal, R., Kaja-Mohideen, A., & Chitturi, M. (2004). Methodology for Estimating Operating Speed and Capacity in Work Zones. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1883(-1), 8. doi: 10.3141/1883-12
- Chandler, R. E., Herman, R., & Montroll, E. W. (1958). Traffic Dynamics: Studies in Car Following. *Operations Research*, 6(2), 165-184. doi: 10.1287/opre.6.2.165
- Chatterjee, I. (2008). *Replication of freeway work zone capacity values in a microscopic simulation model*. (Masters of Science), University of Missouri-Columbia, Missouri-Columbia.
- Dixon, K. K., Hummer, J. E., & Lorscheider, A. R. (1996). Capacity for north carolina freeway work zones. *Transportation Research Record*(1529), p. 27-34.
- Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software (Vol. III, pp. 146): The Federal Highway Administration (FHWA).
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). Microscopic traffic flow simulator VISSIM *Fundamentals of Traffic Simulation* (pp. 63-93): Springer.
- FHWA. (2000). Highway Capacity Manual. Washington, D.C: TRB , National Research Council.
- Forbes, T. W., & Simpson, M. E. (1968). Driver-and-Vehicle Response in Freeway Deceleration Waves. *Transportation Science*, 2(1), 77-104. doi: 10.1287/trsc.2.1.77
- Fritzsche, H., & Benz, D. (1994). A Model for Traffic Simulation. *Traffic Engineering and Control*, 5, 317-321.
- Gao, Y. (2008). *Calibration and Comparison of the VISSIM and INTEGRATION Microscopic Traffic Simulation Models* (Master of Science in Civil and Environmental Engineering), Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia.
- Gipps, P. G. (1986). A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(5), 403-414. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615\(86\)90012-3](http://dx.doi.org/10.1016/0191-2615(86)90012-3)
- Gomes, G., May, A. D., & Horowitz, R. (2004). Congested freeway microsimulation model using VISSIM. *Transportation research record*.(1876), 71-81.
- Halati, A., Lieu, H., & Walker, S. (1997). *CORSIM - Corridor traffic simulation model*.
- Hallmark, S., Mudgal, A., Stout, T., & Wang, B. (2011). Behavior study of merge practices for drivers at work zone closures (pp. 64p).
- Hardy, M., & Wunderlich, K. (2009). Traffic Analysis Tools Volume IX: Work Zone Modeling and Simulation—A Guide for Analysts (Vol. IX, pp. 138): The Federal Highway Administration (FHWA).
- Hurdle, V. F., & Datta, P. K. (1983). Speeds and flows on an urban freeway: Some measurements

- and a hypothesis. *Transportation Research Record*(905), p. 127-137.
- INVIAS. (2004). Manual de señalización: Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorutas de Colombia. In I. N. d. Vias (Ed.), (pp. 609). Bogota, Colombia.: Instituto Nacional de Vias.
- INVIAS. (2008). Manual de diseño geométrico de carreteras. In I. N. d. Vias (Ed.), (pp. 609). Bogota, Colombia.: Instituto Nacional de Vias.
- Jenkins, J. M. (2004). *Modeling the interaction between passenger cars and trucks*. (DOCTOR OF PHILOSOPHY), Texas A&M University.
- Kamyab, A., McDonald, T., Storm, B., & Anderson-Wilk, M. (2003). Effectiveness of extra enforcement in construction and maintenance work zones (pp. 118 p.).
- Khanta, P. R. (2008). *Evaluation of traffic simulation models for work zones in the new england area*. (Master of Science in Civil Engineering), University of Massachusetts - Amherst, Massachusetts.
- Kim, T., Lovell, D. J., & Paracha, J. (2001). *A new methodology to estimate capacity for freeway work zones*. Paper presented at the Proceedings of the Annual Meeting of the Transportation Research Board, CDROM.
- Kocur, G., Adler, T., Hyman, W., & Audet, E. (1982). Guide to forecasting travel demand with direct utility measurement. *UMTA, USA Department of Transportation, Washington DC*.
- Kometani, E., & Sasaki, T. (1959). A Safety Index for Traffic with Linear Spacing. *Operations Research*, 7(6), 704-720. doi: 10.1287/opre.7.6.704
- Krammes, R., & Lopez, G. O. (1994). Updated capacity values for short-term freeway work zone lane closures. *Transportation Research Record*(1442), p. 49-56.
- May, A. D. (1990). *Traffic Flow fundamentals*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Memmott, J. L., & Dudek, C. L. (1984). Queue and user cost evaluation of work zones (QUEWZ). *Transportation Research Record*(979), p. 12-19.
- MoC. (2001). Geometric design standards of Roads and Highways Department. In M. o. Communication (Ed.). República popular de Bangladesh.
- Mtoi, E. T., & Moses, R. (2014). Calibration and Evaluation of Link Congestion Functions: Applying Intrinsic Sensitivity of Link Speed as a Practical Consideration to Heterogeneous Facility Types within Urban Network. *Journal of Transportation Technologies*, 04(02), 141-149. doi: 10.4236/jtts.2014.42014
- Pipes, L. A. (1967). Car following models and the fundamental diagram of road traffic. *Transportation Research*, 1(1), 21-29. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0041-1647\(67\)90092-5](http://dx.doi.org/10.1016/0041-1647(67)90092-5)
- PTV. (2012). *VISSIM 5.40 - Manual del usuario*. Karlsruhe, Alemania: PTV Planung Transport Verkehr AG.
- Sarasua, W. A., Davis, W. J., Clarke, D. B., Kottapally, J., & Mulukutla, P. (2004). Evaluation of interstate highway capacity for short-term work zone lane closures. *Transportation Research Record*(1877), p. 85-94.
- Smith, J., & Blewitt, R. (2010). Traffic Modelling Guidelines. In T. f. London (Ed.), *TfL Traffic Manager and Network Performance Best Practice*.
- Sparmann, U. (1978) Spurwechselvorgänge auf zweispurigen bab-richtungsfahrbahnen. (pp. 106S).
- Suarez, L. A. (2007). *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación*. (Magíster en Ingeniería Infraestructura y Sistema de Transporte), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

- Tapani, A. (2005). *A Traffic Simulation Modeling Framework for Rural Highways* Linköpings Universitet, Norrköping, Sweden
- Tolle, J. E. (1974). Composite car following models. *Transportation Research*, 8(2), 91-96. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0041-1647\(74\)90035-5](http://dx.doi.org/10.1016/0041-1647(74)90035-5)
- TTRL, T. a. r. l. (1965). Research on Road Traffic.
- Van Aerde, M., & Rakha, H. (1995). *Multivariate calibration of single regime speed-flow-density relationships*. Paper presented at the Proceedings of the 6th 1995 Vehicle Navigation and Information Systems Conference.
- Van Aerde, M., & Rakha, H. (2007). INTEGRATION© Release 2.30 for Windows: User's Guide–Volume I: Fundamental Model Features. *M. Van Aerde & Assoc., Ltd., Blacksburg*2007.
- Wiedemann, R. (1974). Simulation des Straßenverkehrsflusses (Traffic Flow Simulations). *Publication series of the Institute for Traffic*.
- Wiedermann, R., & Reiter, U. (1970). Microscopic traffic simulation. *The simulation system mission*.
- Willmann, G. (1978) Zustandsformen des verkehrsablaufs auf autobahnen. (pp. 161S).

ANEXO 1
TOMAS DE DATOS DE VELOCIDAD PUNTO

BUSES				AUTOS			
placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)	placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)
952	55	6,6098182	23,7953455	844	44	8,2622727	29,7441818
683	47	7,7348936	27,845617	O19	60	6,059	21,8124
628	69	5,2686957	18,9673043	248	56	6,4917857	23,3704286
678	100	3,6354	13,08744	263	60	6,059	21,8124
576	61	5,9596721	21,4548197	299	129	2,8181395	10,1453023
249	60	6,059	21,8124	996	67	5,4259701	19,5334925
506	64	5,6803125	20,449125	966	113	3,2171681	11,5818053
165	56	6,4917857	23,3704286	913	56	6,4917857	23,3704286
O46	103	3,5295146	12,7062524	157	56	6,4917857	23,3704286
O61	66	5,5081818	19,8294545	679	59	6,1616949	22,1821017
560	67	5,4259701	19,5334925	549	65	5,5929231	20,1345231
284	58	6,267931	22,5645517	730	60	6,059	21,8124
598	52	6,9911538	25,1681538	663	64	5,6803125	20,449125
772	60	6,059	21,8124	343	68	5,3461765	19,2462353
555	60	6,059	21,8124	O51	58	6,267931	22,5645517
938	52	6,9911538	25,1681538	499	117	3,1071795	11,1858462
977	111	3,2751351	11,7904865	557	69	5,2686957	18,9673043
894	110	3,3049091	11,8976727	137	67	5,4259701	19,5334925
493	54	6,7322222	24,236	272	63	5,7704762	20,7737143
337	130	2,7964615	10,0672615	882	61	5,9596721	21,4548197
667	56	6,4917857	23,3704286	512	67	5,4259701	19,5334925
758	120	3,0295	10,9062	596	105	3,4622857	12,4642286
620	65	5,5929231	20,1345231	603	109	3,3352294	12,0068257
528	167	2,1768862	7,83679042	565	60	6,059	21,8124
611	67	5,4259701	19,5334925	495	69	5,2686957	18,9673043
757	60	6,059	21,8124	195	49	7,4191837	26,7090612
856	45	8,0786667	29,0832	O98	65	5,5929231	20,1345231
662	98	3,7095918	13,3545306	OO2	59	6,1616949	22,1821017
843	89	4,0847191	14,7049888	732	99	3,6721212	13,2196364
464	128	2,8401563	10,2245625	420	59	6,1616949	22,1821017
502	65	5,5929231	20,1345231	O98	67	5,4259701	19,5334925
224	129	2,8181395	10,1453023				
239	60	6,059	21,8124				
O10	67	5,4259701	19,5334925				
276	66	5,5081818	19,8294545				
495	60	6,059	21,8124				

19,7351661

BUSES				AUTOS			
placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)	placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)
347	121	3,0044628	10,8160661				
539	120	3,0295	10,9062				
875	60	6,059	21,8124				
136	54	6,7322222	24,236				
125	50	7,2708	26,17488				
O60	115	3,1612174	11,3803826				
			18,7362709				

CAMIONES				MOTOS			
placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)	placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)
934	55	6,6098182	23,7953455	34C	45	8,078666667	29,0832
834	121	3,0044628	10,8160661	34D	65	5,592923077	20,13452308
681	130	2,7964615	10,0672615	37B	43	8,454418605	30,43590698
244	56	6,4917857	23,3704286	91B	133	2,733383459	9,840180451
270	167	2,1768862	7,83679042	94B	118	3,080847458	11,09105085
577	67	5,4259701	19,5334925	04C	65	5,592923077	20,13452308
559	120	3,0295	10,9062	16B	55	6,609818182	23,79534545
116	60	6,059	21,8124	22C	54	6,732222222	24,236
825	69	5,2686957	18,9673043	78B	105	3,462285714	12,46422857
256	47	7,7348936	27,845617	91C	109	3,335229358	12,00682569
974	58	6,267931	22,5645517	38A	68	5,346176471	19,24623529
637	56	6,4917857	23,3704286	10D	75	4,8472	17,44992
675	66	5,5081818	19,8294545	65C	54	6,732222222	24,236
601	65	5,5929231	20,1345231	69C	102	3,564117647	12,83082353
412	64	5,6803125	20,449125	74A	66	5,508181818	19,82945455
972	129	2,8181395	10,1453023	25D	62	5,863548387	21,10877419
790	114	3,1889474	11,4802105	5oB	97	3,747835052	13,49220619
730	68	5,3461765	19,2462353	56C	62	5,863548387	21,10877419
987	60	6,059	21,8124	30C	65	5,592923077	20,13452308
696	49	7,4191837	26,7090612	68A	120	3,0295	10,9062
332	58	6,267931	22,5645517	39C	107	3,397570093	12,23125234
O30	51	7,1282353	25,6616471	O6A	67	5,425970149	19,53349254
327	55	6,6098182	23,7953455	14C	66	5,508181818	19,82945455
322	60	6,059	21,8124	98C	53	6,859245283	24,69328302
O78	67	5,4259701	19,5334925	96C	49	7,419183673	26,70906122
367	56	6,4917857	23,3704286	24B	110	3,304909091	11,89767273
326	46	7,9030435	28,4509565	72C	48	7,57375	27,2655

CAMIONES				MOTOS			
placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)	placa	tiempo (s)	vel. (m/s)	vel. (Km/h)
132	66	5,5081818	19,8294545	34C	107	3,397570093	12,23125234
862	119	3,054958	10,9978487	91A	111	3,275135135	11,79048649
121	101	3,5994059	12,9578614	O6A	67	5,425970149	19,53349254
133	100	3,6354	13,08744	85C	61	5,959672131	21,45481967
929	68	5,3461765	19,2462353	98B	114	3,188947368	11,48021053
317	123	2,9556098	10,6401951				18,50670853
760	65	5,5929231	20,1345231				
595	47	7,7348936	27,845617				
429	65	5,5929231	20,1345231				
766	46	7,9030435	28,4509565				
205	45	8,0786667	29,0832				
935	49	7,4191837	26,7090612				
457	45	8,0786667	29,0832				
437	48	7,57375	27,2655				
813	44	8,2622727	29,7441818				
808	40	9,0885	32,7186				
101	46	7,9030435	28,4509565				
777	58	6,267931	22,5645517				
O93	131	2,7751145	9,99041221				
863	68	5,3461765	19,2462353				
282	64	5,6803125	20,449125				
822	60	6,059	21,8124				
889	136	2,6730882	9,62311765				
629	119	3,054958	10,9978487				
428	120	3,0295	10,9062				
444	64	5,6803125	20,449125				
714	64	5,6803125	20,449125				
835	113	3,2171681	11,5818053				
232	104	3,4955769	12,5840769				
			19,8734714				

ANEXO 2

MATRIZ PARA DISEÑO FACTORIAL CON BASE EN TABLAS DE KOCUR

No	L1	L2	VEH PESADOS	FLUJO	CONFIGURACION
1	0	0	0	0	0
2	0	1	1	2	1
3	0	2	2	1	1
4	0	0	1	1	2
5	1	1	1	1	1
6	1	2	0	1	2
7	1	0	1	2	0
8	1	1	2	0	1
9	2	2	2	2	2
10	2	0	1	0	1
11	2	1	0	1	1
12	2	2	1	1	0
13	3	0	1	1	1
14	3	1	2	1	0
15	3	2	1	0	2
16	3	1	0	2	1
tablas con swapping a 1era columna L1					
17	1	0	0	0	0
18	1	1	1	2	1
19	1	2	2	1	1
20	1	0	1	1	2
21	2	1	1	1	1
22	2	2	0	1	2
23	2	0	1	2	0
24	2	1	2	0	1
25	3	2	2	2	2
26	3	0	1	0	1
27	3	1	0	1	1
28	3	2	1	1	0
29	0	0	1	1	1
30	0	1	2	1	0
31	0	2	1	0	2
32	0	1	0	2	1
33	2	0	0	0	0
34	2	1	1	2	1
35	2	2	2	1	1
36	2	0	1	1	2

No	L1	L2	VEH PESADOS	FLUJO	CONFIGURACION
37	3	1	1	1	1
38	3	2	0	1	2
39	3	0	1	2	0
40	3	1	2	0	1
41	0	2	2	2	2
42	0	0	1	0	1
43	0	1	0	1	1
44	0	2	1	1	0
45	1	0	1	1	1
46	1	1	2	1	0
47	1	2	1	0	2
48	1	1	0	2	1
49	3	0	0	0	0
50	3	1	1	2	1
51	3	2	2	1	1
52	3	0	1	1	2
53	0	1	1	1	1
54	0	2	0	1	2
55	0	0	1	2	0
56	0	1	2	0	1
57	1	2	2	2	2
58	1	0	1	0	1
59	1	1	0	1	1
60	1	2	1	1	0
61	2	0	1	1	1
62	2	1	2	1	0
63	2	2	1	0	2
64	2	1	0	2	1

tabla con valores					
No	L1	L2	VEH PESADOS	FLUJO	CONFIGURACION
1	60	100	30	1200	3:1
2	60	50	20	600	2:1
3	60	25	10	900	2:1
4	60	100	20	900	3:2
5	45	50	20	900	2:1
6	45	25	30	900	3:2
7	45	100	20	600	3:1
8	45	50	10	1200	2:1
9	30	25	10	600	3:2
10	30	100	20	1200	2:1
11	30	50	30	900	2:1
12	30	25	20	900	3:1
13	15	100	20	900	2:1
14	15	50	10	900	3:1
15	15	25	20	1200	3:2
16	15	50	30	600	2:1
tablas con swapping a 1era columna L1					
17	40	90	27	1150	3:2
18	40	45	18	550	2:1
19	40	22,5	9	850	2:1
20	40	90	18	850	3:1
21	25	45	18	850	2:1
22	25	22,5	27	850	3:1
23	25	90	18	550	3:2
24	25	45	9	1150	2:1
25	10	22,5	9	550	3:1
26	10	90	18	1150	2:1
27	10	45	27	850	2:1
28	10	22,5	18	850	3:2
29	55	90	18	850	2:1
30	55	45	9	850	3:2
31	55	22,5	18	1150	3:1
32	55	45	27	550	2:1
33	35	70	21	1100	2:1
34	35	35	14	500	3:2
35	35	18	7	800	3:2
36	35	70	14	800	3:1

tabla con valores					
No	L1	L2	VEH PESADOS	FLUJO	CONFIGURACION
37	20	35	14	800	3:2
38	20	18	21	800	3:1
39	20	70	14	500	2:1
40	20	35	7	1100	3:2
41	70	18	7	500	3:1
42	70	70	14	1100	3:2
43	70	35	21	800	3:2
44	70	18	14	800	2:1
45	50	70	14	800	3:2
46	50	35	7	800	2:1
47	50	18	14	1100	3:1
48	50	35	21	500	3:2
49	20	40	15	1000	3:2
50	20	25	10	400	3:1
51	20	13	5	700	3:1
52	20	40	10	700	2:1
53	80	25	10	700	3:1
54	80	13	15	700	2:1
55	80	40	10	400	3:2
56	80	25	5	1000	3:1
57	75	13	5	400	2:1
58	75	40	10	1000	3:1
59	75	25	15	700	3:1
60	75	13	10	700	3:2
61	45	40	10	700	3:1
62	45	25	5	700	3:2
63	45	13	10	1000	2:1
64	45	25	15	400	3:1

ANEXO 3
RESULTADOS MODELACIONES EN SOFTWARE VISSIM

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
1	2233,3	631	51057,86	9934	11833,15	730,44	5627,5
	2351,5	654,5	50494,81	9824,46	11702,66	722,39	5648,2
	2235,6	641,6	50520,54	9829,46	11708,62	722,75	5579,3
	2304,5	657,1	51710,91	10061,06	11984,5	739,78	5654
	2252,4	635,2	50946,22	9912,28	11807,28	728,84	5552,7
	2326	661,5	50976,79	9918,23	11814,36	729,28	5637,7
	2332,2	654,5	50552,62	9835,7	11716,06	723,21	5697,5
	2214,6	631,6	51157,31	9953,35	11856,2	731,86	5532,3
	2337	683,4	51528,6	10025,59	11942,25	737,18	5567,3
	2359,8	652,9	50476,56	9820,91	11698,43	722,13	5748,1
2	4,5	23,7	25676,27	4995,67	5950,72	367,33	100,8
	7,7	30,1	25699,39	5000,17	5956,08	367,66	127,9
	3,6	23,6	24993,34	4862,8	5792,45	357,56	70,6
	6,3	26,8	25734,75	5007,05	5964,28	368,17	107,3
	6,3	28	24993,59	4862,84	5792,5	357,56	151,2
	15,2	42,4	25832,2	5026,01	5986,86	369,56	210
	13,5	35	26010,67	5060,73	6028,23	372,11	145,5
	9,2	30,9	25004,2	4864,91	5794,96	357,71	127,3
	8,8	33,6	24742,68	4814,03	5734,35	353,97	152,2
	10,2	33,3	25847,82	5029,05	5990,48	369,78	179,4
3	40,3	50,6	36113,55	7026,39	8369,66	516,65	252,9
	59,3	57,4	36295,25	7061,74	8411,77	519,25	236,8
	24	41,2	35527,9	6912,44	8233,93	508,27	153,6
	37	46,2	36170,56	7037,48	8382,88	517,46	203,5
	16,6	34,8	35183,9	6845,51	8154,21	503,35	135,4
	74,7	72,9	36460,14	7093,82	8449,99	521,6	306,1
	51,2	58,7	35965,94	6997,66	8335,45	514,53	292,1
	38,5	50,4	36271,12	7057,04	8406,18	518,9	203,8
	55,4	55	36098,32	7023,42	8366,13	516,43	255,8
	111,8	88,7	36638,58	7128,54	8491,34	524,16	349,7
4	6,7	30,7	51288,71	9978,92	11886,65	733,74	143,6
	10,4	31,8	52430,7	10201,11	12151,32	750,08	124,1
	6	29,7	51707,73	10060,44	11983,76	739,74	94,3
	6,4	28,7	52076,16	10132,13	12069,15	745,01	80,8
	4,4	28,7	51345,8	9990,03	11899,89	734,56	87,8
	8,5	32	52135,18	10143,61	12082,83	745,85	95
	9,7	35,1	52756,33	10264,46	12226,79	754,74	155,7
	5,1	28,2	52096,29	10136,05	12073,82	745,3	73

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	7	33,4	52158,34	10148,12	12088,2	746,19	126,7
	5,7	30,4	52652,43	10244,25	12202,71	753,25	92,7
5	172,3	118,4	36304,28	7063,49	8413,87	519,37	430,1
	237,2	138,3	36048,57	7013,74	8354,6	515,72	665,8
	109,6	90,9	35539,2	6914,64	8236,55	508,43	311
	149,8	103,5	35775,64	6960,64	8291,35	511,81	499,1
	152,6	104,3	35476,2	6902,38	8221,95	507,53	384
	289,7	169,8	37181,15	7234,1	8617,09	531,92	615,2
	180,2	119,7	35686,19	6943,24	8270,62	510,53	544,4
	194,3	127,3	36270,97	7057,01	8406,15	518,9	507,7
	175,4	121,3	36952,08	7189,53	8564	528,64	426,3
	234,4	142,7	36601,78	7121,38	8482,82	523,63	643,7
6	10,3	38,1	51260,71	9973,47	11880,16	733,34	172,9
	15,9	41,3	52283,37	10172,44	12117,18	747,97	113,4
	24	45,9	52106,71	10138,07	12076,23	745,45	217,7
	17,1	40,5	52541,67	10222,7	12177,04	751,67	176,4
	14,6	35,6	51113,24	9944,78	11845,99	731,23	225
	24,1	44,8	52511,11	10216,75	12169,96	751,23	204,4
	14,4	38,8	52661,95	10246,1	12204,91	753,39	141
	11,8	36,5	51708,3	10060,56	11983,9	739,75	128,7
	13,6	41,1	52235,81	10163,19	12106,15	747,29	139,7
7	17,4	42,6	52831,23	10279,04	12244,15	755,81	169,5
	159,8	121,8	36244,27	7051,82	8399,96	518,52	404,6
	177,9	127,6	35762,47	6958,08	8288,3	511,62	478
	156,3	120,5	35684,15	6942,84	8270,15	510,5	405,2
	171,7	125	35939,37	6992,5	8329,3	514,15	476,8
	118,6	93	34897,87	6789,86	8087,92	499,25	323,2
	229,9	170,5	36943,44	7187,85	8562	528,52	511,9
	153,1	112,7	35567,05	6920,06	8243,01	508,83	451,9
	153,5	119,5	35846,55	6974,44	8307,78	512,83	370,4
	197	151,7	37065,08	7211,52	8590,19	530,26	375
8	207,8	156	37006,56	7200,13	8576,63	529,42	445,5
	2078,8	541	42542,56	8277,24	9859,65	608,62	4807,6
	1953,8	495	43156,12	8396,61	10001,85	617,4	4642
	1813,3	470,9	42212,29	8212,98	9783,11	603,9	4592,9
	1885,5	478,6	42753,18	8318,22	9908,46	611,63	4560,7
	1723,5	442,4	41831,87	8138,96	9694,94	598,45	4343,4
	2153,3	554,5	43497,29	8462,99	10080,92	622,28	4902,6

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	1867,3	475,2	42211,34	8212,79	9782,89	603,88	4715,3
	1693,9	432,2	42210,43	8212,62	9782,68	603,87	4420,5
	1904,3	496,9	43181,08	8401,47	10007,63	617,76	4417,9
	1976,1	493,2	43505,22	8464,53	10082,75	622,39	4765,2
9	0,7	13,4	35569,75	6920,58	8243,63	508,87	40,9
	0,9	14,7	35390,89	6885,78	8202,18	506,31	41,8
	1	13,6	34809,14	6772,59	8067,36	497,98	41,8
	1,4	14,3	35401,33	6887,81	8204,6	506,46	59,5
	0,8	13,3	34527,48	6717,79	8002,08	493,96	34,3
	0,9	14,4	35799,46	6965,27	8296,87	512,15	37,4
	1,3	14,7	35282,53	6864,7	8177,07	504,76	49,1
	0,9	13,6	35316,94	6871,39	8185,04	505,25	35,4
	0,7	12,8	35116,36	6832,37	8138,55	502,38	33,4
	1	14,1	35309,59	6869,96	8183,34	505,14	39,6
10	1258,1	440,6	45796,33	8910,3	10613,74	655,17	3092,3
	1322,6	441,6	45373,73	8828,08	10515,8	649,12	3102,4
	1207,2	410,8	44768,03	8710,23	10375,42	640,46	3046,7
	1277,4	419,3	44731,41	8703,11	10366,94	639,93	3180,9
	1197,1	405,3	44526,54	8663,25	10319,46	637	2967,1
	1428,9	480,3	45736,59	8898,68	10599,9	654,31	3242,1
	1358,7	454,2	44961,07	8747,79	10420,16	643,22	3259,3
	1094,4	378,6	44969,85	8749,5	10422,2	643,35	2844,6
	1210,7	419,2	45978,54	8945,75	10655,97	657,78	2770,5
	1384,4	449,4	45089,7	8772,82	10449,97	645,06	3329,6
11	335,3	179,5	35821,2	6969,5	8301,91	512,46	988,5
	513,6	242,4	35770,02	6959,55	8290,05	511,73	1318,6
	378,8	199,3	36106,29	7024,97	8367,98	516,54	993,1
	427,4	207,5	35747,95	6955,25	8284,93	511,42	1217,9
	350,9	178	34866,84	6783,82	8080,73	498,81	1014,6
	509,5	248,9	36060,26	7016,02	8357,31	515,88	1377,5
	363,5	192	34976,44	6805,15	8106,13	500,38	1140
	417,9	217,3	35948,86	6994,34	8331,49	514,29	1061,6
	480,2	237,3	36806,7	7161,25	8530,31	526,56	1038,1
	471,9	233,4	36498,1	7101,2	8458,79	522,15	1115
12	1042,6	462,6	46726,75	9091,33	10829,38	668,48	2546,5
	1170,1	505,9	47444,8	9231,03	10995,79	678,75	2666,4
	1080,3	476,7	46314,65	9011,15	10733,87	662,58	2565,8
	1136,9	494	47096,86	9163,34	10915,15	673,77	2644

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	1037,7	446,5	45366,69	8826,71	10514,17	649,02	2461,8
	1129,8	485,3	46415,26	9030,72	10757,18	664,02	2685,2
	1100,2	478,1	46470,29	9041,43	10769,94	664,81	2650,6
	1016,3	448,8	46286,02	9005,58	10727,23	662,17	2539,2
	1093,2	481,2	46834,69	9112,33	10854,39	670,02	2489,7
	1154,6	499,8	47148,19	9173,32	10927,05	674,51	2732,9
13	163	116,3	35984,53	7001,28	8339,76	514,8	435,4
	239,6	140,9	35756,33	6956,88	8286,87	511,54	679,4
	127,9	97,2	35402,29	6888	8204,82	506,47	378,5
	143,6	100,9	35576,79	6921,95	8245,26	508,97	477,4
	135,5	98,2	34893,5	6789,01	8086,9	499,19	411,2
	280,7	166,5	36790,25	7158,05	8526,5	526,33	599,3
	203,7	129,8	35155,12	6839,91	8147,54	502,93	620,2
	246,4	151	36015,61	7007,33	8346,96	515,24	601,8
	145,6	111	36929,1	7185,06	8558,68	528,31	397
	235,6	145,6	36576,52	7116,46	8476,96	523,27	603,4
14	835,2	426,6	48440,97	9424,85	11226,66	693	2009,9
	899,6	439,4	47795,77	9299,32	11077,13	683,77	2093,1
	816,2	411,4	47872,25	9314,2	11094,86	684,87	1919,9
	860,9	422,5	48434,37	9423,57	11225,13	692,91	1997,7
	802	401,9	47575,08	9256,38	11025,99	680,62	1930,3
	850,1	419,1	47860,16	9311,85	11092,05	684,69	2055
	865,1	422,2	47757,66	9291,91	11068,3	683,23	2075,1
	783,6	393,8	47526,56	9246,94	11014,74	679,92	1999,1
	866	445,7	49109,59	9554,94	11381,62	702,57	1934,3
	876,7	425,8	48776,31	9490,1	11304,38	697,8	2023,6
15	73,8	67,2	67856,27	13202,37	15726,35	970,76	377,7
	45,5	52,5	68956,17	13416,36	15981,26	986,5	209,4
	50,6	56,5	67603,02	13153,09	15667,65	967,14	214,1
	63,6	60,9	68706	13367,69	15923,28	982,92	284,8
	57,8	60	67852,3	13201,59	15725,43	970,71	256,7
	105,5	72,5	68937,98	13412,83	15977,04	986,24	498,8
	66,7	63,8	68812,2	13388,35	15947,89	984,44	320,8
	79,7	63,5	69361,47	13495,22	16075,19	992,3	373,9
	52	57,3	67065,16	13048,44	15543	959,44	288,7
	67,8	58,8	69291,5	13481,61	16058,97	991,29	307,5
16	12,8	40,9	24464,65	4759,93	5669,92	349,99	185
	15,3	42,8	24767,42	4818,84	5740,09	354,33	140,1

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	15,5	39,3	24084	4685,87	5581,7	344,55	198,1
	21	48,9	24959,79	4856,27	5784,67	357,08	143,7
	10	35,1	24012,02	4671,87	5565,02	343,52	125,7
	23,8	50,2	24605,5	4787,34	5702,56	352,01	213,5
	17,8	43,8	24937,87	4852	5779,59	356,76	143,1
	15,5	42,8	24029,31	4675,23	5569,02	343,77	150,9
	10,9	37,4	23984,08	4666,43	5558,54	343,12	109,4
	14,8	41,3	24564,12	4779,29	5692,97	351,42	194,4
17	80,8	71,2	65083,25	12662,83	15083,67	931,09	339,2
	98,4	77,1	67312,62	13096,59	15600,35	962,98	346,2
	127,7	84,1	66628,66	12963,52	15441,84	953,2	446,9
	62,9	65,9	66531,01	12944,52	15419,2	951,8	229,4
	61,8	60,9	65332,9	12711,41	15141,53	934,66	314,6
	120	80,2	67391,65	13111,97	15618,67	964,12	501,5
	65,5	67,9	66602,78	12958,48	15435,84	952,83	292,2
	106,6	76,3	66848,23	13006,24	15492,72	956,34	353,7
	62,1	62,2	65907,83	12823,27	15274,78	942,89	259,8
	112,4	79,4	66954,15	13026,84	15517,27	957,86	417
18	2,5	20,9	22985,69	4472,18	5327,16	328,84	77,8
	5,6	24,2	22885,6	4452,71	5303,96	327,4	81,7
	7,1	28,2	22917,01	4458,82	5311,24	327,85	121,8
	4,2	21,9	23143,4	4502,86	5363,71	331,09	119,2
	5,3	23,3	22596,46	4396,45	5236,95	323,27	114,3
	3,4	23,3	22418,3	4361,79	5195,66	320,72	135,3
	6	25,6	23101,95	4494,8	5354,1	330,5	119,3
	6,8	23	22749,81	4426,29	5272,49	325,46	135,1
	6,4	24,8	22735,42	4423,49	5269,15	325,26	120,6
	4,4	24,3	23035,59	4481,89	5338,72	329,55	113,3
19	24,9	40,9	33527,52	6523,24	7770,33	479,65	186,1
	11,9	29,1	34216,44	6657,28	7929,99	489,51	104,7
	11,2	28,9	33521,19	6522,01	7768,86	479,56	101,3
	13,6	30	34061	6627,03	7893,97	487,28	106,6
	21	35,3	33322,41	6483,33	7722,79	476,72	192,5
	47,6	55,8	34558,63	6723,85	8009,3	494,4	234,9
	19,4	37,9	34092,01	6633,07	7901,15	487,73	219,7
	10,2	28,9	33818,24	6579,8	7837,7	483,81	100,4
	23,4	36,9	33903,47	6596,38	7857,46	485,03	157
	9,8	27,2	33848,4	6585,67	7844,69	484,24	112,9

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
20	841,3	412,2	46173,7	8983,72	10701,2	660,57	2017,2
	959,5	448,7	45602,72	8872,63	10568,87	652,4	2209,1
	870	427,4	45710,58	8893,62	10593,87	653,94	2096
	894,3	424,5	45923,8	8935,1	10643,28	656,99	2093,5
	829	394,1	45207,24	8795,69	10477,21	646,74	2007,7
	911,9	431,2	45809,74	8912,91	10616,85	655,36	2164,4
	906,9	425,6	45373,37	8828,01	10515,72	649,12	2229,3
	816,7	391,5	45646,81	8881,21	10579,09	653,03	2042,7
	890,9	433,9	46505,99	9048,38	10778,21	665,32	2018,1
	928,2	431,2	45898,5	8930,18	10637,42	656,63	2212,6
21	70	71,3	34171,57	6648,55	7919,59	488,86	259
	91,8	78,9	33609,39	6539,17	7789,3	480,82	413,8
	44	55,1	33368,62	6492,32	7733,5	477,38	202,8
	31,1	47,6	34200,82	6654,24	7926,37	489,28	128,9
	49,1	61,2	33303,33	6479,62	7718,37	476,44	214
	122,1	96	34812,19	6773,19	8068,06	498,03	350,7
	91,1	76,3	33610,27	6539,34	7789,5	480,83	291,5
	75,4	71,2	33897,96	6595,31	7856,18	484,95	277,9
	52,5	62,9	34385,09	6690,09	7969,08	491,92	250,4
	49,4	53,9	34008,93	6616,9	7881,9	486,54	232,3
22	995,3	435,9	43928,16	8546,82	10180,77	628,44	2450,7
	1149,6	497,9	44088,78	8578,07	10218	630,74	2642,6
	1048,8	466,7	43353,7	8435,06	10047,64	620,22	2599,6
	1067,6	455,3	43877,33	8536,93	10168,99	627,72	2562,8
	1002,4	447,4	44116,5	8583,47	10224,43	631,14	2390,8
	1099,3	469,7	43741,78	8510,56	10137,58	625,78	2622,2
	1079,3	459,6	42943,92	8355,33	9952,67	614,36	2697,4
	1010,1	438,7	43351,42	8434,61	10047,11	620,19	2488,2
	1090,6	485,7	44248,25	8609,1	10254,96	633,02	2506,2
	1113,3	471,2	44071,16	8574,65	10213,92	630,49	2710,6
23	0,8	15,4	32217,11	6268,28	7466,63	460,9	35,3
	0,7	16	32097,7	6245,05	7438,95	459,19	35
	1,1	15,6	31702,59	6168,17	7347,38	453,54	52,5
	1	14,6	32070,82	6239,82	7432,72	458,81	41,4
	1,1	15,2	31705,5	6168,74	7348,06	453,58	36,1
	1,4	17,3	32902,39	6401,61	7625,45	470,71	50,5
	0,9	16,7	32324,23	6289,12	7491,45	462,44	29,3
	0,7	15	32162,03	6257,56	7453,86	460,11	39,4

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	0,8	14,3	31730,9	6173,68	7353,94	453,95	45,1
	1,3	15,1	32130,38	6251,41	7446,53	459,66	42,5
24	741,3	312,1	46272,47	9002,94	10724,09	661,98	1641,6
	742,2	296,6	45862,75	8923,22	10629,14	656,12	1681,7
	582,8	238,8	44189,09	8597,59	10241,25	632,18	1490,9
	677,7	272,6	45013,4	8757,97	10432,29	643,97	1569,5
	531,4	226,6	44181,42	8596,1	10239,47	632,07	1390,8
	842,7	341,7	46563,81	9059,62	10791,61	666,15	1838,7
	640	259,3	44548,11	8667,44	10324,45	637,31	1567,2
	583,1	241,4	44072,46	8574,9	10214,22	630,51	1664,3
	626,9	266,4	46001,27	8950,17	10661,24	658,1	1321,3
	693,9	280,7	45843,5	8919,48	10624,67	655,84	1652,3
25	16	24,9	29962,11	5829,54	6944,01	428,64	72
	17,1	27,2	28902,64	5623,4	6698,47	413,49	78,8
	9,1	19,7	27269,44	5305,64	6319,96	390,12	49,8
	13,1	23,6	28466,32	5538,51	6597,35	407,24	63,3
	13	23,1	28074,4	5462,26	6506,51	401,64	66,8
	17,9	27,9	29149,38	5671,41	6755,65	417,02	101,4
	15,5	24,8	29563,26	5751,94	6851,57	422,94	59,7
	8,9	20,6	27484,07	5347,4	6369,7	393,19	51,4
	15	24,9	28725,95	5589,03	6657,52	410,96	64,9
	18,4	28,1	28823,2	5607,95	6680,06	412,35	109,1
26	981,3	378,2	44769,75	8710,57	10375,82	640,48	2420,6
	1104,1	400,6	44598,01	8677,15	10336,02	638,03	2557,4
	883,1	332,1	43355,99	8435,5	10048,17	620,26	2304,8
	1054,5	378,6	44035,73	8567,75	10205,71	629,98	2509,6
	927,7	346,9	43878,9	8537,24	10169,36	627,74	2304,6
	1131,6	419,2	45069,74	8768,93	10445,35	644,77	2614,2
	1036,5	385,5	43601,37	8483,24	10105,04	623,77	2474,1
	910,8	347,4	43567,42	8476,64	10097,17	623,28	2464,5
	914,9	357,9	45036,34	8762,44	10437,61	644,3	2131,9
	1068,4	384,8	44801,07	8716,66	10383,08	640,93	2486,4
27	146,3	112,4	33940,21	6603,53	7865,97	485,55	419,8
	271,8	160,1	33863,51	6588,61	7848,2	484,46	787,3
	203,5	133,4	34081,2	6630,96	7898,65	487,57	471,8
	187,2	125,8	33807,71	6577,75	7835,26	483,66	577,9
	108,9	92,1	32923,01	6405,62	7630,23	471	438
	326,1	187,5	34912,51	6792,71	8091,31	499,46	699

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	208	128	33149,63	6449,71	7682,75	474,24	745,3
	196,7	131,6	33752,23	6566,96	7822,4	482,86	547,7
	233,4	151,4	35278,93	6864	8176,23	504,71	596
	294,4	174,5	34790,14	6768,9	8062,95	497,71	674,2
28	5,3	25,6	49029,84	9539,43	11363,14	701,43	111,6
	5,8	27	49646,75	9659,45	11506,11	710,25	104,3
	5,6	27,6	48922,42	9518,53	11338,24	699,89	82,6
	3,4	25,1	49255,08	9583,25	11415,34	704,65	46,8
	5,6	26,1	48757,66	9486,47	11300,06	697,53	107,9
	10,7	32,9	49671,42	9664,25	11511,83	710,61	184,4
	8,1	29	49738,5	9677,3	11527,38	711,57	215,2
	4,9	24,4	49268,24	9585,81	11418,39	704,84	97,9
	5,1	24,5	48002,38	9339,52	11125,02	686,73	88,5
	5,4	26,4	50000,94	9728,37	11588,2	715,32	79,2
29	68,1	69,8	34264,97	6666,72	7941,24	490,2	254,4
	105,3	83,6	33986,73	6612,58	7876,75	486,22	426,6
	37,8	51,4	33599,95	6537,33	7787,11	480,69	203,2
	31,5	47	34297,55	6673,06	7948,79	490,67	175,5
	47	60,3	33707,8	6558,31	7812,11	482,23	221,9
	156,5	108,8	35180,73	6844,89	8153,47	503,3	402,4
	91,6	75,9	33966,66	6608,68	7872,1	485,93	272,6
	71,9	69,8	34192,71	6652,66	7924,49	489,17	243,9
	69,6	72,1	34765,12	6764,03	8057,15	497,36	309,3
	48,4	53,1	34135,24	6641,48	7911,17	488,34	239,7
30	2	19,1	49128,26	9558,57	11385,95	702,84	61,2
	3,6	21,6	49648,46	9659,79	11506,51	710,28	103,6
	2	18,8	48773,65	9489,58	11303,76	697,76	47
	2,5	19,2	49310,85	9594,1	11428,27	705,45	74,6
	2,3	20,1	48749,75	9484,93	11298,23	697,42	56,8
	4,9	20,8	49444,4	9620,08	11459,22	707,36	130,6
	2,7	19,9	49621,11	9654,47	11500,17	709,89	66,3
	2,1	20,7	49413,68	9614,11	11452,1	706,92	88,6
	1,9	18,9	48525,74	9441,35	11246,31	694,22	75,8
	2,6	20,5	50100,56	9747,75	11611,29	716,75	69,1
31	1804,6	606	51221,33	9965,81	11871,04	732,78	4505,6
	1915,6	633,4	51946,31	10106,86	12039,06	743,15	4518,4
	1809,1	612,5	51200,16	9961,69	11866,13	732,48	4444,8
	1864,3	619,2	52084,88	10133,82	12071,17	745,13	4477,4

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	1791,3	597,7	51696,18	10058,2	11981,09	739,57	4423
	1902,3	628	51617,48	10042,88	11962,85	738,45	4564,3
	1838,4	614,3	51855,41	10089,18	12017,99	741,85	4524,3
	1754,6	589,7	52500,42	10214,67	12167,48	751,08	4400,5
	1814,3	614,7	52777,73	10268,63	12231,75	755,05	4306,4
	1868,9	607,3	51891,42	10096,19	12026,34	742,37	4560,4
32	8,2	34,5	22604,56	4398,03	5238,82	323,38	135,1
	7,9	31,9	23018,51	4478,57	5334,76	329,31	141,7
	7,3	30,5	23030,6	4480,92	5337,56	329,48	168,1
	7,4	31,3	23292,36	4531,85	5398,23	333,22	130,4
	4,9	27,9	22746,44	4425,63	5271,71	325,41	113,2
	5,8	30,1	22584,28	4394,08	5234,13	323,09	163,3
	9,7	34,5	23193,29	4512,57	5375,27	331,81	115,4
	7,6	33,9	22906,09	4456,69	5308,71	327,7	136,5
	8,7	31	22718,52	4420,2	5265,24	325,01	134
	5,2	29,3	23190,88	4512,1	5374,71	331,77	118
33	917,9	358,8	42920,95	8350,86	9947,34	614,03	2246,2
	954,9	355,2	42632,78	8294,79	9880,56	609,91	2348
	820,7	313,9	42028,46	8177,21	9740,5	601,27	2143,7
	835,4	310,9	41981,18	8168,01	9729,54	600,59	2151,6
	848,9	322,3	41950,38	8162,02	9722,4	600,15	2138,3
	1037,1	398,7	43276,26	8419,99	10029,69	619,12	2376,1
	920,8	347,4	41772,71	8127,45	9681,23	597,61	2348,5
	794	315,1	41861,07	8144,64	9701,71	598,87	2172,6
	927,8	360,6	43706,58	8503,71	10129,42	625,27	2091,6
	989,1	368,2	43483,39	8460,29	10077,7	622,08	2322
34	0,5	13,2	30050,32	5846,7	6964,45	429,9	39,2
	0,7	13,3	29942,67	5825,76	6939,5	428,36	39
	0,5	12,3	29747,05	5787,7	6894,17	425,57	43,4
	0,9	13	30221,51	5880,01	7004,13	432,35	48,7
	0,8	12,6	29359,1	5712,21	6804,25	420,02	35,2
	0,8	13,9	30572,86	5948,37	7085,56	437,38	28,6
	0,8	13,5	30028,81	5842,51	6959,47	429,6	44,6
	0,4	12	29954,24	5828,01	6942,18	428,53	21,8
	0,8	11,7	29729,76	5784,33	6890,16	425,32	41,5
	0,5	12,5	29990,2	5835	6950,52	429,04	33,1
35	3,9	20,1	46390,9	9025,98	10751,54	663,68	150,7
	2,4	17,3	46728,06	9091,58	10829,68	668,5	49,1

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	2,3	17,7	46074,2	8964,37	10678,14	659,14	53,4
	2,7	17,7	46374,47	9022,79	10747,73	663,44	45,2
	2,1	16,9	45808,17	8912,61	10616,49	655,34	40,5
	2	17,5	46710,07	9088,08	10825,51	668,24	46,8
	1,8	17,3	46695,26	9085,2	10822,08	668,03	49,3
	2,3	17,1	46705,62	9087,22	10824,48	668,18	63,6
	2	16,1	46010,97	8952,06	10663,49	658,24	39,1
	2,4	17,7	46934,47	9131,74	10877,52	671,45	51,4
36	614,5	335,2	45257,72	8805,51	10488,91	647,46	1480,8
	668,9	356,5	45508	8854,2	10546,92	651,04	1533,2
	637,4	347,3	44724,79	8701,82	10365,4	639,84	1530
	634,3	335,3	45051,89	8765,46	10441,21	644,52	1499,5
	599,2	327,7	44817,91	8719,94	10386,98	641,17	1433,2
	735	392,5	45840,81	8918,96	10624,05	655,81	1660,4
	651,2	343,8	44978,34	8751,15	10424,17	643,47	1568,6
	576,9	305,4	44438,34	8646,09	10299,01	635,74	1491,3
	653,7	361,4	46291,91	9006,72	10728,6	662,26	1425,2
	695,6	365	45622,8	8876,54	10573,52	652,69	1606
37	2,7	20,6	46472,19	9041,8	10770,38	664,84	51,4
	3,5	21,6	46563,07	9059,48	10791,44	666,14	74
	2,3	21,7	46067,69	8963,1	10676,63	659,05	69,9
	2,9	20,6	46289,64	9006,28	10728,07	662,23	71
	3,5	20,2	45801,9	8911,38	10615,03	655,25	61,3
	6,9	27,1	46948,26	9134,43	10880,71	671,65	198,6
	3,4	22,3	46596,35	9065,96	10799,15	666,61	64
	3,7	21,3	46883,39	9121,8	10865,68	670,72	67,3
	2,2	20,3	46033,47	8956,44	10668,7	658,56	57,4
	3,3	20,3	46779,94	9101,68	10841,7	669,24	66,5
38	0,001	385,9	44116,33	8583,43	10224,39	631,13	0
	0,001	399,3	44085,05	8577,35	10217,14	630,69	0
	0,001	379,8	43991,35	8559,12	10195,42	629,35	0
	0,001	363,5	43960,03	8553,02	10188,16	628,9	0
	0,001	356	43368,21	8437,88	10051	620,43	0
	0,001	405,7	44187,46	8597,27	10240,87	632,15	0
	0,001	381,7	43898,19	8540,99	10173,83	628,01	0
	0,001	339,2	43183,43	8401,93	10008,18	617,79	0
	0,001	392,3	45067,43	8768,49	10444,81	644,74	0
	0,001	396,9	44539,03	8665,68	10322,35	637,18	0

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
39	2,1	16,1	21238,77	4132,29	4922,29	303,85	83,7
	1,8	16,3	20908,44	4068,02	4845,73	299,12	60,2
	1,9	17,6	20830,91	4052,94	4827,77	298,01	72,5
	1,9	15,5	21093,94	4104,11	4888,72	301,77	63,7
	2,1	17,9	20598,39	4007,7	4773,88	294,68	63,7
	3,2	20,7	21069,15	4099,29	4882,98	301,42	149,3
	1,9	16,3	21276,53	4139,64	4931,04	304,39	55,4
	1,4	15,1	20751,85	4037,55	4809,44	296,88	54,6
	0,5	13,2	20832,72	4053,29	4828,18	298,04	23,2
	1,2	16,8	21261,81	4136,77	4927,63	304,17	39,7
40	9,8	28,8	62831,48	12224,72	14561,8	898,88	181,4
	10,8	27,3	63469,39	12348,84	14709,64	908	135
	7,4	27	63086,17	12274,28	14620,83	902,52	95,7
	8,8	24,6	62832,78	12224,97	14562,1	898,9	142,1
	5,5	23,9	62434,84	12147,55	14469,88	893,2	67,7
	9,7	28,7	63296,93	12315,28	14669,68	905,54	113,2
	10,6	28,2	63025,98	12262,57	14606,88	901,66	104,1
	7,9	26,3	63210,48	12298,46	14649,64	904,3	99,4
	6,8	24,6	62163,95	12094,85	14407,1	889,33	111,1
	12,2	28,1	63385,38	12332,49	14690,17	906,8	129,8
41	5,4	15,3	30102,36	5856,82	6976,51	430,65	56,9
	7,1	17,1	30129,59	5862,12	6982,82	431,04	72,1
	3,1	13,5	29661,12	5770,98	6874,25	424,34	44,2
	6	16	30364,84	5907,89	7037,34	434,4	74,6
	2,9	13,7	29375,01	5715,31	6807,94	420,24	35,7
	8,6	18,5	30545,61	5943,07	7079,24	436,99	83,8
	4,8	15,8	30126,88	5861,6	6982,2	431	52
	4,1	14,5	30094,99	5855,39	6974,8	430,54	55,4
	4,4	14,2	29848,03	5807,34	6917,57	427,01	51,8
	5,2	15,8	30197,68	5875,37	6998,6	432,01	70,3
42	14,2	37,9	62552,68	12170,48	14497,19	894,89	214,4
	13	34,3	63223,65	12301,02	14652,69	904,49	165,4
	16,6	38,4	63253,27	12306,79	14659,56	904,91	172,5
	13	37	62882,3	12234,61	14573,58	899,6	147,7
	12,8	33,9	62609,1	12181,45	14510,26	895,7	152
	22,4	40,8	63538,99	12362,38	14725,78	909	225
	19,9	40	62932,23	12244,33	14585,15	900,32	197
	15,5	37,3	63344,73	12324,58	14680,75	906,22	131,5

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	11,9	35,3	62403,65	12141,48	14462,65	892,76	151,5
	20,2	37,5	63916,25	12435,78	14813,21	914,4	192,2
43	3	25,6	46556,77	9058,25	10789,98	666,05	106,2
	4,2	25,4	46698,85	9085,9	10822,91	668,08	88,7
	2,9	25,8	45974,14	8944,9	10654,95	657,71	68
	2,4	24,9	46351,08	9018,23	10742,31	663,11	51,9
	3,3	26	45706,76	8892,88	10592,98	653,89	82,9
	7,3	29,9	47005,41	9145,55	10893,96	672,47	239,8
	10,9	31,6	46749,67	9095,79	10834,69	668,81	192,7
	2,6	24,4	46862,4	9117,72	10860,81	670,42	58,6
	3,7	27,5	46206,95	8990,19	10708,91	661,04	76,8
	5,1	26,1	46850,1	9115,33	10857,96	670,24	101,1
44	28	47,3	32456,4	6314,84	7522,08	464,33	225,7
	25,9	43,1	32497,21	6322,78	7531,54	464,91	186,6
	16,3	39,6	31889,76	6204,59	7390,76	456,22	128,3
	16,3	39	32451,02	6313,79	7520,84	464,25	132,2
	19	41,7	31198,36	6070,07	7230,52	446,33	184,9
	39,9	51,5	32494,42	6322,23	7530,89	464,87	216,8
	29,8	48,1	32123,5	6250,07	7444,93	459,56	165,8
	22,3	42,3	31613,6	6150,86	7326,76	452,27	213,3
	24,3	43,2	32153,95	6255,99	7451,99	460	180,5
	13,3	33,1	32090,13	6243,57	7437,2	459,09	163
45	3,8	21	46430	9033,59	10760,6	664,23	68,2
	4,2	21,7	46338,59	9015,81	10739,42	662,93	77,8
	3,3	22	45954,16	8941,01	10650,32	657,43	71
	3,2	20,8	46047,52	8959,17	10671,96	658,76	65,8
	3,1	20,5	45796,24	8910,28	10613,72	655,17	59,8
	8,3	27,7	46798,15	9105,22	10845,92	669,5	197,5
	4,5	22,9	46429,06	9033,41	10760,38	664,22	80,1
	4,6	21,8	46653,36	9077,05	10812,37	667,43	77,6
	3,3	20,9	45803,15	8911,63	10615,32	655,27	59,2
	3,6	20,5	46579,5	9062,68	10795,25	666,37	67,6
46	10,9	28	32236,54	6272,06	7471,13	461,18	129,4
	8,1	25,1	32101,07	6245,7	7439,73	459,24	103,4
	6,3	22,7	31591,16	6146,49	7321,56	451,95	88,9
	9,7	25,9	32190	6263	7460,34	460,51	81,6
	8,8	24	31218,76	6074,04	7235,25	446,62	97,6
	25,2	36,8	32717,79	6365,69	7582,66	468,07	210,9

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	12,1	31,5	32235,82	6271,92	7470,96	461,17	154,5
	8,6	25,2	31863,29	6199,44	7384,62	455,84	115
	10,1	25,8	31710,58	6169,73	7349,23	453,66	99,4
	8,7	27,4	31910,07	6208,54	7395,47	456,51	176,9
47	1541,7	570,9	51287,63	9978,71	11886,4	733,73	3818,6
	1601,5	580,8	51966,19	10110,73	12043,67	743,44	3778,2
	1522,8	565,9	51783,93	10075,27	12001,43	740,83	3782,3
	1608,1	581,4	51804,37	10079,25	12006,16	741,12	3831,7
	1531,6	569,2	52474,54	10209,64	12161,48	750,71	3670,5
	1623,8	595,9	52391,14	10193,41	12142,15	749,52	3866,6
	1597,3	586,7	52064,83	10129,92	12066,53	744,85	3875,6
	1509,5	557,4	52253,72	10166,67	12110,3	747,55	3742,4
	1579,1	592,9	53015,25	10314,84	12286,8	758,44	3679,4
	1578,7	564,5	52443,02	10203,51	12154,18	750,26	3823,8
48	1,1	15,4	30098,34	5856,04	6975,58	430,59	40,3
	1,3	16,2	29875,33	5812,65	6923,9	427,4	42,2
	0,9	14,1	29415,57	5723,2	6817,34	420,82	45,5
	1,1	14,7	30043,29	5845,33	6962,82	429,8	49
	1,1	15,9	29253,18	5691,61	6779,71	418,5	44,9
	1,1	15,5	30417,86	5918,21	7049,63	435,16	42,7
	1,2	15,2	30023,69	5841,52	6958,28	429,52	50,4
	1,1	14,4	29835,3	5804,87	6914,62	426,83	57,3
	1,2	13,9	29667,76	5772,27	6875,79	424,43	40
	0,8	14,6	29776,6	5793,44	6901,01	425,99	32,6
49	24,5	41,2	55629,39	10823,46	12892,65	795,84	275,3
	8,8	31,9	56327,72	10959,33	13054,49	805,83	94,1
	10,2	33	55504,26	10799,11	12863,65	794,05	140,1
	13,2	34,4	56196,82	10933,86	13024,16	803,96	184,3
	12	33,2	55656,17	10828,67	12898,86	796,23	113,1
	14,2	38,1	56683,65	11028,58	13136,98	810,92	173,8
	17,5	38,2	56971,43	11084,57	13203,68	815,04	156,5
	8,8	30,6	56347,91	10963,26	13059,17	806,12	100,9
	6,6	30,2	54971,94	10695,54	12740,28	786,44	94,6
	10,3	32	56441,09	10981,39	13080,77	807,45	142,1
50	2,3	12,7	18330,56	3566,46	4248,28	262,24	54,3
	2,7	14,3	18515,69	3602,48	4291,19	264,89	39,1
	2,4	12,9	18372,53	3574,63	4258,01	262,84	29,3
	2,1	12,3	18729,37	3644,05	4340,71	267,95	35

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	3,3	13,6	18368,25	3573,79	4257,02	262,78	62,1
	3,4	14,4	19624,37	3818,19	4548,14	280,75	44,3
	2,7	13	18867,58	3670,95	4372,74	269,92	38,5
	3,1	13,3	19609,45	3815,29	4544,68	280,54	40,1
	2,6	12,4	18347,07	3569,67	4252,11	262,48	34,6
	2,4	13,2	18567,28	3612,52	4303,15	265,63	28,6
51	218,3	165,3	41831,27	8138,85	9694,8	598,44	477,7
	173,8	134	40452,91	7870,67	9375,35	578,73	424,5
	149,9	117,1	39988,25	7780,26	9267,66	572,08	400,8
	184,1	136,6	40810,57	7940,25	9458,24	583,84	469,8
	160,5	126,3	39776,96	7739,15	9218,7	569,06	397
	242,3	183,7	41603,55	8094,54	9642,02	595,19	538,4
	191,2	140,5	40547,98	7889,16	9397,39	580,09	483,8
	153	118,7	40179,13	7817,4	9311,9	574,81	376,1
	207,9	164,1	41779,02	8128,68	9682,69	597,7	377
	195,1	145,2	41446,22	8063,93	9605,56	592,94	454,7
52	5,6	25,1	26979,42	5249,21	6252,74	385,97	115
	3,2	21,8	26457,01	5147,57	6131,67	378,5	59,4
	2,8	20,4	26272,7	5111,71	6088,95	375,86	73,8
	6,8	26,2	27255,21	5302,87	6316,66	389,92	114,4
	7,4	26,3	26329,2	5122,71	6102,05	376,67	154,1
	21,2	39,7	27168,18	5285,94	6296,49	388,67	246,2
	5,3	25,7	27360,51	5323,36	6341,06	391,42	113,8
	5,2	22,9	27388,56	5328,82	6347,56	391,82	87
	4,4	22,2	27013,13	5255,77	6260,55	386,45	78,5
	11,3	31,3	27281,44	5307,98	6322,74	390,29	222,2
53	310,5	215,3	41829,21	8138,44	9694,32	598,42	709,1
	298,4	197,9	41125,64	8001,56	9531,26	588,35	727,3
	260,2	179,4	40784,91	7935,26	9452,3	583,48	669,8
	320,3	212,4	41774,05	8127,71	9681,54	597,63	752,2
	264,8	179,1	40804,09	7938,99	9456,74	583,75	633,3
	326	223,1	42100,59	8191,24	9757,22	602,3	725
	309,2	202,8	41201,1	8016,24	9548,75	589,43	741,6
	246	168,6	40940,77	7965,59	9488,42	585,7	635,5
	302,5	213,2	42084,88	8188,19	9753,58	602,07	632,5
	329,9	219,8	42072,57	8185,79	9750,72	601,9	738,6
54	6,1	26,4	28256,03	5497,6	6548,61	404,24	105,8
	8,5	29,7	28402,24	5526,04	6582,49	406,33	124

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	5,1	26,9	27842,02	5417,05	6452,66	398,31	92,8
	8,3	28	28552,54	5555,29	6617,33	408,48	134,6
	15,6	36,3	28015	5450,7	6492,75	400,79	177,6
	31,8	49,9	28259,89	5498,35	6549,5	404,29	233,3
	15,1	36,7	28801,51	5603,73	6675,03	412,04	181
	12,3	34,5	28054,35	5458,36	6501,87	401,35	153,3
	19,7	44,3	28672,43	5578,61	6645,11	410,19	226,5
	15,8	37,9	28621,32	5568,67	6633,27	409,46	205
55	0,2	9,4	24390,53	4745,51	5652,74	348,93	33,9
	0,1	10,6	24554,56	4777,43	5690,76	351,28	21,9
	0,2	10,3	24414,04	4750,08	5658,19	349,27	21,6
	0,1	9,2	24730,42	4811,64	5731,51	353,8	16,1
	0,2	9,8	24055,31	4680,29	5575,05	344,14	31,4
	0,1	10,5	25036,28	4871,15	5802,4	358,17	17,4
	0,1	10	24720,79	4809,77	5729,28	353,66	17,3
	0,1	9,8	24602,68	4786,79	5701,91	351,97	28,9
	0,1	9,2	24222,31	4712,78	5613,75	346,53	16,3
	0,1	9,6	24799,23	4825,03	5747,46	354,78	17,5
56	1006	464	53129,37	10337,05	12313,25	760,08	2332,9
	1008,8	446	53356,17	10381,17	12365,81	763,32	2335,9
	959,5	432,8	52326,53	10180,84	12127,18	748,59	2306,4
	982,5	436,4	52950,42	10302,23	12271,77	757,52	2292,1
	951,7	426,7	53090,89	10329,56	12304,33	759,53	2174,9
	1033,6	461,7	53189,23	10348,69	12327,12	760,93	2426,3
	980,9	436	52840,05	10280,75	12246,19	755,94	2300,1
	925,5	417,2	52930,16	10298,29	12267,08	757,23	2276,9
	997,1	460,7	54445,42	10593,1	12618,25	778,9	2211,5
	1006,9	447,3	53655,06	10439,32	12435,08	767,6	2424,4
57	0,6	10,8	17473,95	3399,8	4049,76	249,99	39
	0,3	8,9	17266,6	3359,45	4001,7	247,02	22,5
	0,4	9,7	16988,2	3305,29	3937,18	243,04	27
	0,4	9,7	17406,71	3386,71	4034,17	249,02	34,6
	0,4	9,7	17180,67	3342,73	3981,79	245,79	34
	0,3	10,2	17228,52	3352,04	3992,88	246,47	18,1
	0,4	10,4	17482,37	3401,43	4051,71	250,11	25,1
	0,4	9,8	17166,57	3339,99	3978,52	245,59	28,3
	0,4	9,3	17265,74	3359,29	4001,5	247,01	23,6
	0,4	10,5	17561,81	3416,89	4070,12	251,24	27,2

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
58	1133,9	498	51770,59	10072,68	11998,33	740,64	2707,4
	1163	492,8	51936,1	10104,88	12036,69	743,01	2719,1
	1127,3	487,4	50898,36	9902,97	11796,19	728,16	2722,7
	1169,8	499,8	51261,33	9973,59	11880,31	733,35	2785,1
	1123,5	480,5	51054,28	9933,31	11832,32	730,39	2641,7
	1190,4	505,8	51125,56	9947,18	11848,84	731,41	2858
	1159,5	491,7	51079,09	9938,14	11838,07	730,75	2739,5
	1044,9	444,6	50928,83	9908,9	11803,25	728,6	2619,2
	1150,3	503	52213,67	10158,88	12101,02	746,98	2630,3
	1181,7	500,6	51231,2	9967,73	11873,32	732,92	2850,1
59	377	242,1	41104,44	7997,43	9526,35	588,05	887,8
	389,6	239,6	40968,68	7971,02	9494,89	586,1	930,4
	326,6	209,5	40430,02	7866,21	9370,05	578,4	845,5
	377,6	230	40816,68	7941,44	9459,66	583,93	949
	343,6	212,1	39987,74	7780,16	9267,54	572,07	848,8
	455	282,2	42001,03	8171,87	9734,14	600,87	1045,3
	384,4	238,7	40806,64	7939,49	9457,33	583,79	947
	349,7	218,4	40431,37	7866,47	9370,36	578,42	885,9
	381	249,9	41646,67	8102,93	9652,02	595,8	833,7
	403,6	255,3	42050,14	8181,43	9745,53	601,58	899,6
60	1	17	41080,37	7992,75	9520,77	587,7	35,2
	1,1	16	40822,22	7942,52	9460,94	584,01	38,6
	0,6	16,1	40658,3	7910,63	9422,95	581,66	27,9
	1,1	16,6	41160,83	8008,4	9539,42	588,85	33,9
	1,4	16,9	40423,11	7864,87	9368,45	578,3	65,8
	0,8	16,9	40308,92	7842,65	9341,98	576,67	36
	0,6	15,7	41113,5	7999,19	9528,45	588,18	24,3
	1,1	15,5	40975,83	7972,41	9496,54	586,21	52,3
	0,7	15,1	40486,2	7877,14	9383,07	579,2	31,2
	0,9	16,5	41187,46	8013,58	9545,59	589,23	50,5
61	301,5	209,3	41806,5	8134,03	9689,06	598,09	699,3
	275,3	185,9	41354,53	8046,09	9584,31	591,62	670,9
	262,5	182,2	40974,27	7972,1	9496,18	586,18	652,6
	302,9	202,5	41799,62	8132,69	9687,46	597,99	714,8
	285,2	191,9	40810,01	7940,15	9458,11	583,83	676,8
	339,4	231,6	41878,82	8148,1	9705,82	599,12	759,1
	323,1	213,8	41322,17	8039,79	9576,81	591,16	743,4
	251,7	171,5	40826,64	7943,38	9461,97	584,07	665,2

Corrida No.	Cola Promedio (m)	Demoras(s)	Emisiones CO (g)	Emisiones NOx (g)	Emisiones COV(g)	Consumo de Combustible (gal)	Máxima Cola (m)
	330,9	233,8	42716,11	8311	9899,87	611,1	635,7
	322,6	214,3	42254,97	8221,28	9793	604,51	711,7
62	1,2	14,7	41006,99	7978,47	9503,77	586,65	40
	0,6	13,4	40778,46	7934,01	9450,8	583,38	27,8
	0,9	14	40609,94	7901,22	9411,75	580,97	23,9
	1,2	14	41057,57	7988,31	9515,49	587,38	33,7
	1,1	13,4	40338,65	7848,44	9348,87	577,09	28
	1,2	15,2	41327,72	8040,87	9578,1	591,24	46,9
	0,9	14	41075,12	7991,73	9519,56	587,63	27,4
	1,4	14,5	40959,68	7969,27	9492,8	585,98	49,1
	1,4	14,2	40578,47	7895,1	9404,45	580,52	38,6
	1,5	14,3	41226,49	8021,18	9554,64	589,79	39,6
63	192,4	114,1	39842,69	7751,94	9233,93	570	484,5
	188	111,4	39998,41	7782,24	9270,02	572,22	460,5
	124,4	87,5	39089,19	7605,34	9059,3	559,22	349,6
	218,6	122,1	39860,97	7755,5	9238,16	570,26	658,8
	151,5	99,3	38897,83	7568,1	9014,95	556,48	516,3
	404,1	212,2	41345,98	8044,42	9582,33	591,5	850,7
	236,9	135,2	39472,4	7679,89	9148,11	564,7	668
	129,1	88,2	39351,99	7656,47	9120,2	562,98	410,7
	184,6	109,9	40173,37	7816,28	9310,57	574,73	384,8
	228,4	129,9	40108,64	7803,68	9295,57	573,8	575,7
64	3,8	14,1	24480,8	4763,07	5673,66	350,23	49,9
	3,6	15,3	24660,51	4798,04	5715,31	352,8	43,4
	3,7	14,4	24296,01	4727,12	5630,83	347,58	46,4
	3	14,4	24691,72	4804,11	5722,55	353,24	33,2
	4,5	15,8	24147,59	4698,24	5596,44	345,46	66,1
	6,7	18,3	25108,5	4885,2	5819,14	359,21	63,8
	5,7	15,9	24859,76	4836,81	5761,49	355,65	54,2
	5	16,7	24583,72	4783,1	5697,51	351,7	50,2
	3,6	14,4	24336,55	4735,01	5640,23	348,16	55,2
	4	14,3	24914,4	4847,44	5774,15	356,43	43,9