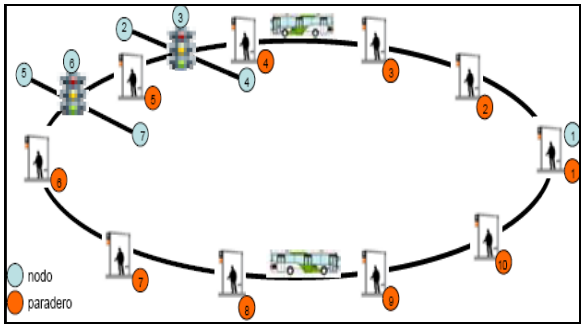
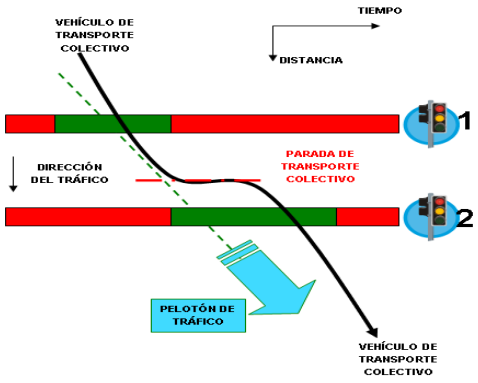
Tabla 6. Principales algoritmos para problemas dinámicos de transporte.

Nombre	Descripción	Arquitectura
Algoritmos de control predictivo de sistemas de transporte.	Las estrategias de prioridad para transporte público en semáforos bajo una óptica de control predictivo, (Otárola et al, 2008) integra las acciones de control sobre semáforos con acciones de control sobre buses como: holding (retención en paradero) y station skipping (salto de paradero). Estas acciones de control sobre buses permiten mejorar la regularidad de los intervalos entre pasadas sucesivas de buses en paraderos, y así disminuir los tiempos de espera de los usuarios (Sáez et al., 2008). De hecho, formalmente (Osuna & Newell, 1972) demuestran que mantener un intervalo regular entre buses permite reducir los tiempos de espera en paraderos. De los resultados se desprende que las estrategias de ***holding*** y ***station skipping*** funcionan mejor si se les acompaña de prioridad en semáforos. Esto se traduce en las disminuciones en los tiempos de espera y demoras en semáforos que se observaron.	Red integrada de buses . 
Algoritmos evolutivos para el control de sistemas de transporte.	Al priorizar el paso de los vehículos de la flota de transporte público, los planes de tráfico que en cada momento se encuentran en funcionamiento en los reguladores, deben ser adaptados dando preferencia de verde al movimiento a realizar por el autobús detectado. La Adaptación del transporte público no puede consistir simplemente en la activación de una fase de emergencia que facilite dichos movimientos, ya que esta estrategia debe, además de otorgar el paso del autobús con el menor retardo posible, no perjudicar la coordinación existente entre los demás movimientos, ya que en caso contrario la priorización del transporte público derivaría en un desajuste de las rutas de coordinación.	

Fuente: Elaboración propia

4. FORMULACIÓN

"Vale la pena destacar que la próxima generación de sistemas de tiempo real serán grandes, complejos, adaptativos, contendrán muchos tipos de restricciones temporales, necesitarán trabajar en entornos altamente *no deterministas*, y ejecutarse durante un largo tiempo de vida del sistema . …..
para estos sistemas, todas las tareas cumplirán sus plazos el 100% del tiempo"
(Ramos, 2000)

La teoría de flujo de tránsito busca describir de manera matemática las interacciones entre automóviles que viajan a través de una vía. Para hacerlo, es necesario tomar en consideración una serie de variables y parámetros que determinan la reacción del conductor y de su automóvil ante una determinada situación.

Con el fin de explicar el comportamiento del flujo del tránsito automovilístico se han tomado en cuenta áreas del conocimiento como matemáticas, física y computación; en las cuales se establecen diversas teorías: teoría cinética de gases, teoría de colas, teoría de dinámica de fluidos, etcétera. El objetivo es utilizar los principios generales de las teorías antes mencionadas con el fin de establecer modelos, los cuales permitan describir el comportamiento del tránsito tomando en consideración diferentes escenarios. La creación de diferentes modelos tiene como finalidad encontrar mecanismos que permitan controlar en la mayor medida posible el flujo de tránsito. Estos modelos conjugan elementos estocásticos y/o determinísticos, y pueden dirigirse al comportamiento microscópico de un auto en particular siguiendo a otro, o al comportamiento macroscópico de grupos considerables de autos sin especificar uno en particular (Ver Anexos digitales 7, 8 y 9, modelo macroscópico de simulación a través del software Transyt 7F, bajo plataforma Windows). Un importante paso se dio cuando fue encontrada una consistencia entre el comportamiento microscópico y macroscópico, es decir, mediante experimentos microscópicos ha sido posible encontrar la forma de predecir el comportamiento macroscópico.

4.1 CREACIÓN ESCENARIO ALGORITMO MICROSCÓPICO

Los modelos Macroscópicos describen el flujo vehicular como un todo; y los modelos Microscópicos describen el comportamiento de los vehículos individuales en una corriente vehicular. Las condiciones de tránsito varían desde condición de flujo libre a condición congestionada.

4.1.1 Elección del tramo vial a estudiar

Después de realizar un diagnóstico detallado acerca de las condiciones de movilidad de la Avenida el Poblado entre calles 34 y 21 Sur, se determina como tramo de investigación para la migración o no, hacia sistemas de tecnología de vanguardia reguladas bajo estrategias de Control Adaptativo, el tramo comprendido entre calles 5A - 7 hasta las calles 4 Sur - 5 Sur, (Loma de los González) y cuya longitud es de aproximadamente 1 km; para lo cual se realizará una evaluación a la luz de un modelo microscópico desarrollado en Alemania por la casa Matriz PTV VISION, y cuyo software se denomina Vissim. El modelo ha sido calibrado a través de múltiples mediciones de campo en la Universidad Técnica de Karlsruhe, Alemania, y será utilizado para la medición y calibración de un "modelo base" consecuente con las *condiciones de la hora de máxima demanda del corredor vial arterial elegido*, que opere con estrategia de control responsivo, además de la creación de un modelo con estrategia de control adaptativo.

La ciudad de Medellín también ha realizado estudios de calibraciones con el modelo Vissim para la hora valle, sobre un corredor vial principal localizado en la calle 50 (Colombia) entre carreras 81A y 81B (dos intersecciones); el corredor presenta uso del suelo con establecimientos que ocasionan pocas maniobras de estacionamiento, y el control de los semáforos es de tiempo fijo, a la altura de la Cr 81A y regulación con "Pare" sobre la Cr 81B. (Suárez, 2007).

Figura 7. Localización subred para análisis de microsimulación

Fuente: Elaboración propia

Por ser el algoritmo del software Vissim, dentro de la gama de modelos microscópicos, un modelo **estocástico** (Las leyes conocidas de **causa-efecto** están descritas por distribuciones de probabilidades, es un proceso al azar con indeterminancias en su evolución futura, es sabida la condición actual pero al final del proceso son muchas las posibilidades, sin embargo algunas trayectorias son más probables y otras menos), en contraposición con el modelo macroscópico del software Transyt 7F desarrollado en Estados Unidos, que es determinístico (La relación **causa-efecto** se conoce en su totalidad, por ejemplo, representa todos los fenómenos que siguen las leyes de la física clásica); el algoritmo del Vissim requiere entre otros aspectos un rango de parámetros asociados con el tipo de vehículo y clase.

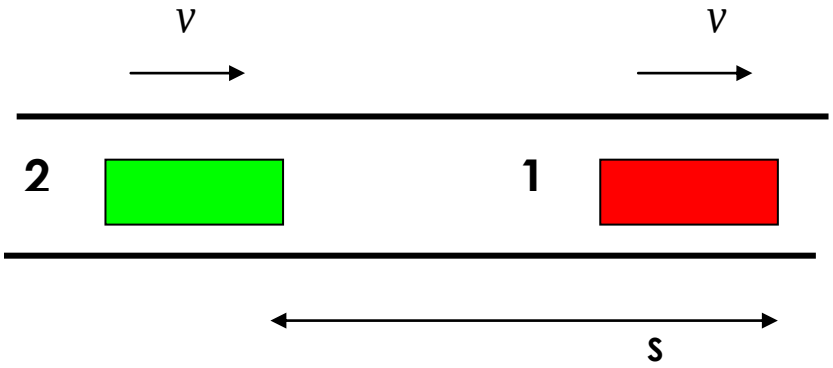
4.1.2 Principales tipos de variables

Los valores que asumen estas variables son determinados por ciertos parámetros. Por ejemplo, el parámetro llamado por los psicólogos **PIEV** (Percepción, Intelecto, Evaluación y Voluntad) determina la reacción del conductor ante una situación dada. Otros parámetros importantes son el valor máximo de aceleración que puede tener el automóvil y el ancho de la vía, por citar algunos.

Las variables Microscópicas incluyen (1) la velocidad individual de los vehículos (speed), (2) intervalos de tiempo entre vehículos llamado comúnmente "headway time", y (3) espaciamiento (spacing). [2]

Cada uno de los parámetros antes definidos pueden ser monitoreados en diferentes posiciones de tiempo, espacio, de forma puntual o en promedio; surgiendo de esta manera conceptos básicos muy útiles como los que se mencionan a continuación.

Figura 8. Relación entre variables microscópicas y macroscópicas



Fuente: Adaptado de Traffic Engineering Roess/Prassas/McShane, Prentice Hall, 2004.

2 Adaptado de Traffic Engineering Roess/Prassas/McShane, Prentice Hall, 2004.

Ecuación 20. Espaciamiento medio $s = \frac{\sum si}{N} = \frac{L}{N} = \frac{1}{k}$

Ecuación 21. Intervalo medio $h = \frac{\sum hi}{N} = \frac{T}{N} = \frac{1}{q}$,

Relación con la velocidad h = s/v

Por lo tanto,

Ecuación 22. $q = k.v$ (Ecuación fundamental de flujo de tránsito)

4.1.3 Modelo

El modelo estocástico (VISSIM), con el cual se aborda la presente investigación se basa en el modelo de seguimiento Car Following, específicamente, está fundamentado en el modelo Widemann 74 (modelo que se utiliza para tránsito urbano). Se señala que el modelo Widemann 99 es un modelo utilizado para autopistas, es decir tránsito interurbano.

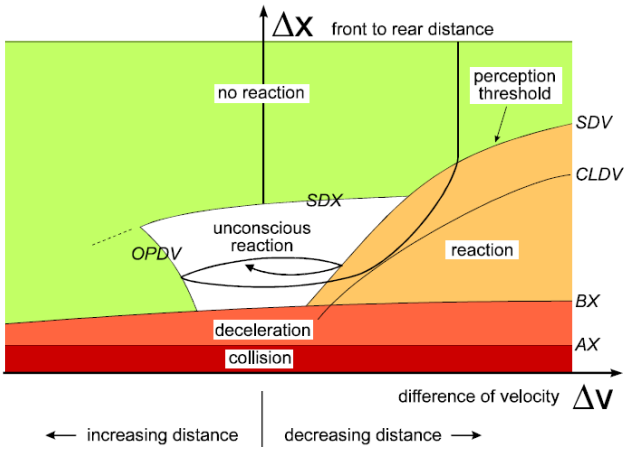
La precisión del modelo depende principalmente de la forma en que se establezca el modelo de seguimiento entre vehículos cuando estos están detenidos y en movimiento a lo largo de una red. En contraste con modelos menos complejos con velocidades constantes y lógica de seguimiento de los vehículos determinista, VISSIM utiliza el modelo desarrollado por Wiedemann (1974), teniendo presente el comportamiento del parámetro PIEV para las condiciones psico-físicas del conductor en cada categoría de vehículos (livianos, buses, pesados, motos, bicicletas).[3]

El concepto básico de este modelo es que el conductor de un vehículo más rápido en movimiento comienza a decelerar hasta llegar a su umbral de percepción de un vehículo individual lento en movimiento. Como no puede determinar exactamente la velocidad de dicho vehículo, su velocidad cae por debajo de la velocidad propia del vehículo, hasta que comienza a acelerar un poco más después de llegar a otro umbral de percepción. Esto resulta en un proceso iterativo de aceleración y deceleración. Distribución estocástica de los umbrales de velocidad y distancia replican las características individuales del conductor y su comportamiento.

[3] Manual VISSIM. PTV Traffic Mobility Logistics. Año 2007

El modelo no sólo permite a los conductores en las vías de varios carriles reaccionar a los vehículos precedentes (4 por defecto), sino también que son tomados en cuenta los vehículos vecinos de los carriles adyacentes. Además, produce un estado de alerta más alto para los conductores que se acercan a una intersección controlada por semáforos o a prioridad.

Figura 9. Modelo de la Lógica del Seguimiento de Vehículo. (Wiedemann 1974).



Fuente: Manual de VISSIM. PTV Traffic Mobility Logistics. Año 2007

Vissim simula el flujo de tráfico en movimiento a través de una red, mediante la definición de la unidad "drivervehicle", esto es, "vehículo – conductor". Todos los pilotos con sus características de comportamiento específico son asignados a un vehículo definido, consecuentemente con la categoría del vehículo. Por tanto, el comportamiento de conducción corresponde también a la capacidad técnica de su vehículo.

Los atributos que caracterizan a cada unidad "drivervehicle", pueden ser discriminados en tres categorías:

► **Especificaciones técnicas del vehículo:**

- Longitud
- Velocidad máxima
- Potencial de aceleración
- La posición real en la red
- La velocidad real y la aceleración, etc.

► **Comportamiento del conductor, por ejemplo:**

- Umbrales de sensibilidad psico-físicos del conductor (capacidad de tolerancia, y/o agresividad)
- Memoria del conductor
- Aceleración basada en la velocidad actual y la velocidad deseada de conducir.

► **Interdependencia de las unidades vehículo - conductor**:

- En relación a liderar y/o seguir los vehículos por su cuenta permitiendo cambios sobre los carriles de circulación adyacentes.
- En Referencia a las señales de tráfico próximas
- Distancia a la próxima intersección

La simulación en VISSIM consta de 2 partes diferentes, la primera es el "simulador para estrategia de control de tiempo fijo", que utiliza un modelo microscópico de tráfico propiamente dicho que incorpora de un lado, el modelo de seguimiento de vehículos (livianos, buses, pesados, motos, bicicletas) en movimiento a través de una red vial, y de otro lado, introduce una lógica de cambio de carril. La segunda parte es la simulación de estrategias de control responsivo, y control adaptativo, que puede realizarse a través de la interfaz VAP (vehicle Actuated Programming) o VISVAP, ambas permiten una programación actuada de los vehículos bien sea por semiactuación (control responsivo), o en tiempo real (control adaptativo); o a través de otra interfaz mediante módulos adicionales como el SCOOT, etc. En el desarrollo del presente trabajo se utilizará la interfaz VAP.

La interfaz VAP, es un complemento opcional en el módulo de VISSIM para la simulación del tráfico y programación de las fases de los semáforos, y basados en la demanda, los controladores de tráfico accionan la señal. La lógica de control se describe en un archivo de texto utilizando un lenguaje de programación simple. Durante la simulación se ejecuta VISSIM, de esta manera VAP interpreta los comandos de la lógica de control y crea los comandos de control de la señal de la red VISSIM. Al mismo tiempo, diversas variables a través del detector reflejan la situación actual del tráfico capturadas por medio de la simulación y procesadas en la lógica VAP. La investigación que nos ocupa, presenta la metodología para emplear la lógica VAP con mayor detalle en el numeral 4.3.2.1

4.2 CREACIÓN ESCENARIO CON ESTRATEGIA DE CONTROL RESPONSIVO

En Vissim la creación de un modelo es extremadamente flexible. Se puede modelar una gran variedad de condiciones de tránsito y de modos de transporte no comunes. (Estudios de viabilidad e impacto del tráfico ferroviario, soluciones de

tratamiento preferencial para los buses, análisis de modelos dinámicos de asignación, VISSIM puede responder a la ruta de elección dependiendo de cuestiones tales como los impactos de mensaje variable, o las posibilidades de desviación del tráfico).

4.2.1 ESTUDIO EXPERIMENTAL

A través de prácticas experimentales en condiciones típicas urbanas para la hora de máxima demanda del día, se obtuvieron parámetros representativos de la velocidad de recorrido y de la velocidad de marcha, del tramo vial arterial objeto del presente estudio.

4.2.1.1 Método del vehículo flotante

El Anexo 4 (Método del vehículo flotante), y los anexos digitales 7 hasta 10, hacen referencia a todos los elementos que constituyen el diagnóstico general a lo largo de 6 km de vía del corredor de la Avenida el Poblado entre calles 34 y 21Sur, y específicamente contienen una evaluación global del movimiento del tránsito a lo largo del corredor que determina su calidad, al estimar su eficiencia en términos de la velocidad vehicular. De esta manera, se evaluó todo el corredor para conocer de primera mano, cual es el tramo vial más cargado vehicularmente, y proceder a estudiarlo mediante algoritmo microscópico (software Vissim). En este sentido se observo que el tramo más cargado corresponde a la "Milla de Oro" de la Avenida el Poblado, entre la calle 5A y la calle 5 Sur (Loma de los Gonzales).

Tamaño de la muestra.

Los requisitos del tamaño de la muestra, para un estudio de tiempo de recorrido y demora se basan en la necesidad concreta de la información. Se tienen rangos de errores permisibles, en la estimación de la velocidad media de recorrido, que están relacionados con el propósito de la investigación:

- Planeación del transporte y estudios de necesidades viales: ± 5,0 a ± 8 km/h (± 3.0 a ± 5 mi/h).
- Operación del tránsito, análisis de tendencias, y evaluaciones económicas ± 3,5 a ± 6,5 km/h (± 2.0 a ± 4 mi/h).
- Estudios de "antes" y "después", análisis de tendencias y evaluaciones económicas ± 2,0 a ± 5,0 km/h (± 1,0 a ± 3,0 mi/h).

Para el caso se está evaluando la operación del tránsito sobre la Avenida el Poblado, por lo cual el error permisible en la velocidad media de recorrido esta en el rango ± 3,5 a ± 6,5 km/h, eligiéndose ± 5 km/h.

A continuación se determina el tamaño de la muestra para cada dirección de recorrido; sin embargo hay que tener presente que para los tiempos y velocidades de recorrido, es difícil determinar los requisitos para el tamaño de la muestra. La información indicada en la Tabla 7, proporciona valores aproximados para el diseño de estudios de tiempo de recorrido y demoras.

El tamaño mínimo aproximado de la muestra, se selecciono de la tabla 7, para el rango promedio calculado de la velocidad de recorrido y el error permitido deseado. Si el tamaño de la muestra requerido es mayor que el número de recorridos muestreados; entonces se deberá ampliar el estudio bajo condiciones de tránsito y ambientales similares; hasta obtener el tamaño mínimo de muestra.

Tabla 7. Tamaño mínimo aproximado de la muestra con un nivel de confianza del 95%.

Rango promedio de la velocidad de recorrido (km/h)	Número mínimo de recorridos para un error permisible específico				
	± 2,0 km/h	± 3,5 km/h	± 5,0 km/h	± 6,5 km/h	± 8,0 km/h
5,0	4	3	2	2	2
10,0	8	4	3	3	2
15,0	14	7	5	3	3
20,0	21	9	**6**	5	4
25,0	28	13	**8**	6	5
30,0	38	16	10	7	6

Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. Paul C. Box y Ph.D Joseph C Oppenlander. México. 1985.

El primer día se realizó un premuestreo de 4 recorridos de prueba, obteniéndose la información que se presenta:

Tabla 8. Premuestreo método del vehículo flotante.

Avenida el Poblado entre calles 34 y 21 Sur

Número de recorrido	Velocidad de recorrido (km/h)		Velocidad de Marcha (km/h)	
	N - S	S - N	N - S	S - N
Recorrido 1	20,5	27,7	29,1	37,8
Recorrido 2	23,7	20,0	28,0	24,0
Recorrido 3	16,2	21,4	21,5	25,9
Recorrido 4	13,9	28,7	24,0	33,2
Promedio	**17,8**	**23,9**	**25,3**	**29,3**

Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Año 2010

Para el sentido de circulación Norte - Sur se obtuvo una velocidad promedio de recorrido de 17,8 km/h, de la tabla 7 se obtiene un número mínimo de recorridos de 5,56 ~6,0 para un error permisible específico de ± 5,0 km/h. De la misma forma para el sentido de circulación Sur – Norte, y una velocidad promedio de recorrido de 23,9 km /h, el número mínimo de recorridos requeridos corresponde a 7,56 ~ 8,0. Sin embargo se realizaron 10 recorridos por cada sentido de circulación cumpliendo de esta forma por encima del tamaño mínimo de la muestra requerida. El Anexo 4, contiene los 10 recorridos realizados de sur a norte, y viceversa.

Para la subred en estudio, y de acuerdo a la información tomada en campo se observa que la velocidad promedio de recorrido y de marcha, de 10 recorridos realizados en hora valle y pico, para el sentido de circulación norte - sur es respectivamente 16,4 y 23,4 km/h para el tramo comprendido de la calle 5A a la calle 1 Sur, y para el tramo vial entre calles 1Sur y 5Sur 11,7 y 18,2 km/h. Así mismo, la velocidad promedio de recorrido y de marcha para el sentido de circulación sur-norte es respectivamente 18,7 y 23,5 km/h para el tramo comprendido de la calle 5Sur a la calle 1 Sur, y para el tramo vial entre calles 1Sur y 5A 19,3 y 26,5 km/h, como lo indica la figura 10, y tabla 10.

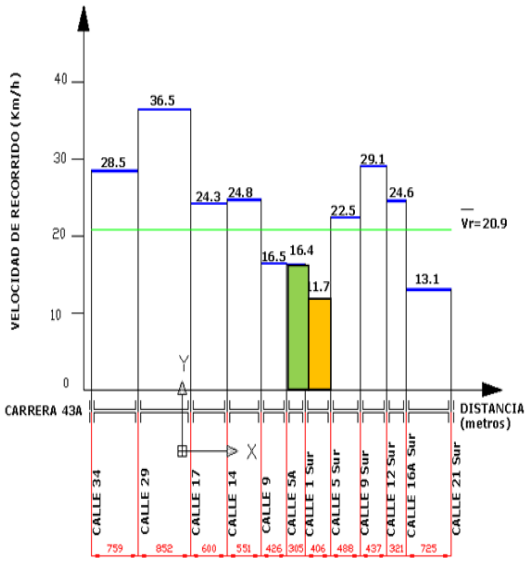
La tabla 9, contiene información tomada en base al método del vehículo de prueba, con datos registrados únicamente en la hora pico pm, del tramo a analizar bajo algoritmo microscopico.

La tabla 9, muestra las tendencias de la velocidad media de recorrido tomados durante el período de máxima demanda de la subred evaluada, (recorridos 1, 3, 4, 7). Se observa que la velocidad media de recorrido en sentido Norte – Sur es de 9,30 km/h y en sentido Sur - Norte de 16,2 km/h; por tanto para la subred vial evaluada en ambos sentidos de la Avenida el Poblado entre calles 5A y 5Sur (Loma de los González) podría corresponder a un valor aproximado de 12,75 km/h.

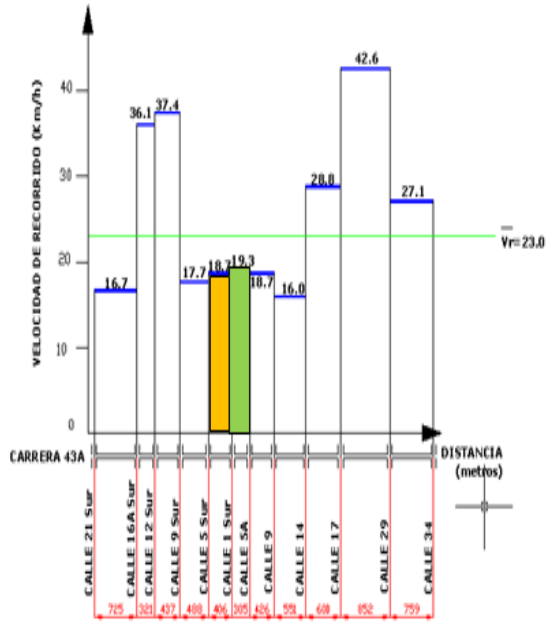
Posteriormente dentro de la etapa de calibración del modelo, se presentan puntos de contraste entre velocidades medidas en campo, versus la velocidad obtenida del modelo.

Figura 10. Perfil de velocidad promedio de recorrido y marcha
Períodos pico y valle evaluados.

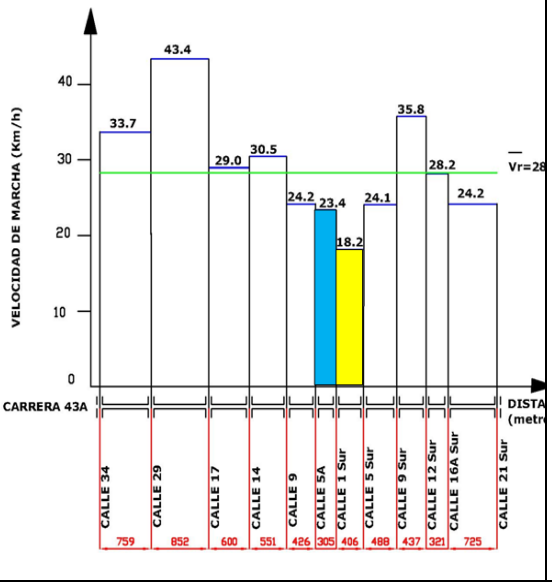
Perfil de velocidad promedio de recorrido. Norte- Sur



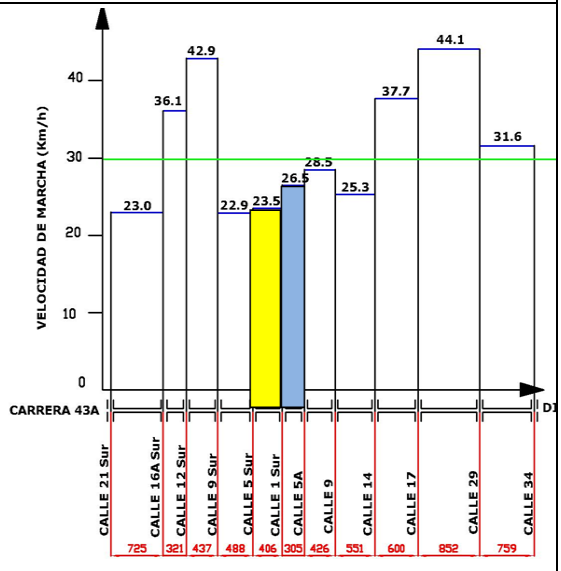
Perfil de velocidad promedio de recorrido. Sur- Norte



Perfil de velocidad promedio de marcha. Norte- Sur.



Perfil de velocidad promedio de marcha. Sur-Norte.



Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Abril 7 y 8 de 2010

Tabla 9. Método del vehículo flotante, periodo pico pm.

AVENIDA EL POBLADO (CRA 43A) ENTRE CALLES 5A Y 5SUR

ESTUDIO DE TIEMPO DE RECORRIDOS Y DEMORAS. SENTIDO N-S. FECHA: abril de 2010

TRAMO		DISTANCIA	Hora inicial	Hora Fina	Tiempo Gastado	Tiempo Gastado (hora)	DEMORAS (seg)		VELOCIDAD (Km/h	
NUMERO DE TRAMO	DE - A	(Km)					Duración	Causa (1)	Recorrido	Marcha
TRAMO 6	Cl 5A (Clínica Medellín) - Cl 1 Sur (L..Parras)	0,305	17:39:15	17:41:02	00:01:46	0,02944	42,06	1	10,4	17,5
							1,03	10		
TRAMO 7	Cl 1 Sur (L.Parras) - Cl 5 Sur (González)	0,406	17:41:02	17:43:52	00:02:50	0,04722	29,10	1	8,6	13,1
							29,67	10		
	TOTAL	**0,71**		**00:04:36**	**00:04:36**	0,07667	**101,85**		**9,3**	**14,7**

AVENIDA EL POBLADO (CRA 43A) ENTRE CALLES 5A Y 5SUR

ESTUDIO DE TIEMPO DE RECORRIDOS Y DEMORAS. SENTIDO S-N. FECHA: abril de 2010

TRAMO		DISTANCIA	Hora Inicial	Hora Fina	Tiempo Gastado	Tiempo Gastado (hora)	DEMORAS (seg)		VELOCIDAD (Km/h	
NUMERO DE TRAMO	DE - A	(Km)					Duración	Causa (1)	Recorrido	Marcha
TRAMO 7	Cl 5 Sur (González) - Cl 1 Sur (L.Parras)	0,406	18:02:01	18:03:36	00:01:35	0,02639	5,29	1	15,4	16,3
								2		
TRAMO 6	Cl 1 Sur (L.Parras) - Cl 5A (Clínica Medellín)	0,305	18:03:36	18:04:39	00:01:03	0,01750	20,80	1	17,4	34,4
							10,30	2		
	TOTAL	**0,71**		**00:02:38**	**00:02:38**	**0,04389**	**36,38**		**16,2**	**21,0**

(1) **CAUSAS DE DEMORAS**

1	Semáforo en rojo	7	Vehículo estacionado en zona prohibida
2	Ascenso y descenso de pasajeros	8	Tiempo perdido intencionalmente por conductor
3	Accidentes	9	Cruce de peatones
4	Vehículo cruzando a la izquierda	10	Congestión
5	Vehículo girando a la derecha	11	Glorieta
6	Bus Varado	12	Otra causa

Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Abril 7 y 8 de 2010

Tabla 10. Método del vehículo flotante, períodos pico y valle evaluados.

TRAMO		DISTANCIA	Tiempo Gastado	DEMORAS (seg)		VELOCIDAD (Km/h)	
NUMERO DE TRAMO	DE - A	(Km)		Duración	Causa (1)	Recorrido	Marcha
TRAMO 1	Cl 34 - Cl 29 (Pintuco)	0,759	00:01:36	13,85	1	28,5	33,7
				0,96	2		
TRAMO 2	Cl 29 (Pintuco) - Cl 19 (Dinners)	0,852	00:01:25	13,28	1	36,5	43,4
TRAMO 3	Cl 19 (Dinners) - Cl 14 (Castropol)	0,600	00:01:29	12,90	1	24,3	29,0
				1,65	2		
TRAMO 4	Cl 14 (Castropol) - Cl 9 (Parque El Poblado)	0,551	00:01:20	9,73	1	24,8	30,5
				5,25	10		
TRAMO 5	Cl 9 (Parque El Poblado) - Cl 5A (Clínica Medellín)	0,426	00:01:33	21,38	1	16,5	24,2
TRAMO 6	Cl 5A (Clínica Medellín) - Cl 1 Sur (L..Parras)	0,305	00:01:07	19,21	1	16,4	23,4
				0,91	10		
TRAMO 7	Cl 1 Sur (L.Parras) - Cl 5 Sur (González)	0,406	00:02:05	19,77	1	11,7	18,2
				25,04	10		
TRAMO 8	Cl 5 Sur (González) - Cl 9 Sur (L.Balsos)	0,488	00:01:18	2,52	1	22,5	24,1
				2,45	10		
TRAMO 9	Cl 9 Sur (L.Balsos) - Cl 12 Sur (I. Aguacatala)	0,437	00:00:54	10,03	1	29,1	35,8
TRAMO 10	Cl 12 Sur (I.Aguacatala) - Cl 16A Sur (L.Campestre)	0,321	00:00:47	2,60	1 y 2	24,6	28,2
				3,38	10		
TRAMO 11	Cl 16A Sur (L.Campestre) - Cl 21 Sur (Mall Frontera)	0,725	00:03:20	73,54	1	13,1	24,2
				18,74	10		
TOTAL		**5,87**	**00:16:54**	**265,48**		**20,9**	**28,3**

AVENIDA EL POBLADO (CRA 43A) ENTRE CALLES 34 Y 21 SUR
ESTUDIO DE TIEMPO DE RECORRIDOS Y DEMORAS. SENTIDO S-N. FECHA: 7,8 y 9 abril de 2010.

TRAMO		DISTANCIA	Tiempo Gastado	DEMORAS (seg)		VELOCIDAD (Km/h)	
NUMERO DE TRAMO	DE - A	(Km)		Duración	Causa (1)	Recorrido	Marcha
TRAMO 11	Cl 21 Sur (Mall Frontera) - Cl 16A Sur (L.Campestre)	0,725	00:02:36	32,62	1	16,7	23,0
				9,72	10		
TRAMO 10	Cl 16A Sur (L.Campestre) - Cl 12 Sur (I.Aguacatala)	0,321	00:00:32			36,1	36,1
TRAMO 9	Cl 12 Sur (I.Aguacatala) - Cl 9 Sur (L.Balsos)	0,437	00:00:42	0,22	1	37,4	42,9
				5,10	5 y 1		
TRAMO 8	Cl 9 Sur (L.Balsos) - Cl 5 Sur (González)	0,488	00:01:39	20,30	1	17,7	22,9
TRAMO 7	Cl 5 Sur (González) - Cl 1 Sur (L.Parras)	0,406	00:01:18	15,52	1	18,7	23,5
				0,30	2		
TRAMO 6	Cl 1 Sur (L.Parras) - Cl 5A (Clínica Medellín)	0,305	00:00:57	15,40	1	19,3	26,5
				0,21	2		
TRAMO 5	Cl 5A (Clínica Medellín) - Cl 9 (Parque El Poblado)	0,426	00:01:22			18,7	28,5
				7,85	2 y 10		
TRAMO 4	Cl 9 (Parque El Poblado) - Cl 14 (Castropol)	0,551	00:02:04	38,29	1	16,0	25,3
				7,20	10		
TRAMO 3	Cl 14 (Castropol) - Cl 19 (Dinners)	0,600	00:01:15	17,74	1	28,8	37,7
TRAMO 2	Cl 19 (Dinners) - Cl 29 (Pintuco)	0,852	00:01:12	2,45	1	42,6	44,1
TRAMO 1	Cl 29 (Pintuco) - Cl 34	**0,759**	00:01:41	14,65	1	27,1	31,6
TOTAL		**5,87**	**00:15:18**	**209,96**		**23,0**	**29,8**

(1) **CAUSAS DE DEMORAS**

1	Semáforo en rojo	7	Vehículo estacionado en zona prohibida
2	Ascenso y descenso de pasajeros	8	Tiempo perdido intencionalmente por conductor
3	Accidentes	9	Cruce de peatones
4	Vehículo cruzando a la izquierda	10	Congestión
5	Vehículo girando a la derecha	11	Glorieta
6	Bus Varado	12	Otra causa

Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Abril 7 y 8 de 2010

4.2.1.2 Estudio de velocidad de punto sobre la subred.

Al llevar a cabo este estudio se determinó el tiempo en que el vehículo recorre una distancia prefijada, de tal manera que todas las lecturas de velocidad deben ser causales y representativas de las condiciones de flujo para la hora de máxima demanda; y de esta manera medir las características de la velocidad en ubicaciones específicas bajo las condiciones prevalecientes de tráfico y ambientales durante el estudio. Sin embargo, cabe aclarar que esta metodología puede incurrir en inexactitudes frente a si se utilizará tecnología de avanzada. (La investigación no cuenta con recursos suficientes).

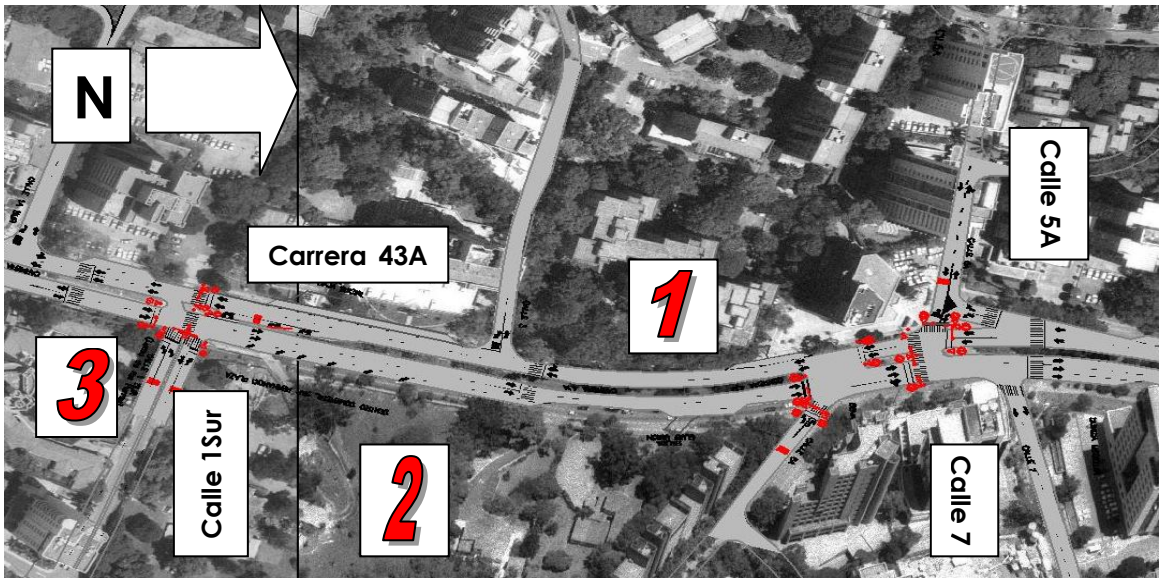
La práctica se llevo a cabo en 3 sitios, a saber:

Tabla 11. Localización toma de información en campo

Ubicación	Dirección	Sentido de circulación Evaluado
Punto 1	Carrera 43A (Avenida el Poblado) entre calles 5A y 1Sur (Loma los Parras)	N-S
Punto 2	Carrera 43A (Avenida el Poblado) entre calles 5A y 1Sur (Loma los Parras)	S-N
Punto 3	Calle 1 Sur con carrera 43A. Acceso Oriental	E - N y E - S

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Localización de la subred para estudio de velocidad de punto.



Fuente: Elaboración propia

Tamaño de la muestra

Dado que el estudio pretende establecer rangos de velocidades para diferentes tipos de vehículos que servirán de insumo para contrastar la obtenida del modelo, previamente se realizó un trabajo de campo y se obtuvo un pre-muestreo. Dicho pre-muestreo permitió identificar proporciones previas por las vías seleccionadas, para cada tipo de vehículo. (Se selecciono la franja de tiempo 17:45 a 18:45 y se contabilizaron el total de vehículos que circularon en dicha franja). Relacionándose a continuación:

Tabla 12. Porcentaje de composición vehicular

Tipo de vehículo	SENTIDO N-S Punto 1	SENTIDO S-N Punto 1	SENTIDO E-N Punto 3	SENTIDO E-S Punto 3
	COMPOSICIÓN VEHICULAR (%)			
Autos	82,40%	78,10%	80%	91%
Buses	1,40%	2,80%	0%	0%
Camiones	0,20%	0,50%	1%	0%
Motos	15,60%	15,00%	17%	8%
Bicicletas	0,50%	3,50%	2%	1%
Total	100%	100%	100,00%	100,00%

Fuente: Elaboración propia año 2010.

Dado que no se tomaron mediciones previas de velocidades para estos vehículos (puesto que el interés inicial era identificar la distribución de vehículos de cada tipo), se elige un tamaño de muestra usando el criterio propuesto por Box y Oppenlandder (1985). Se utilizó la misma fórmula para obtener un tamaño de muestra adecuado discriminado por vía y sentido:

Ecuación 23. $$N = \frac{(K * S)^2}{E^2} = 114$$

Donde:

N = Tamaño de la muestra
K = Es una constante, que es igual a 2,0 para un nivel de confiabilidad de aproximadamente del 95.5%
S = Desviación estándar de la muestra (km/h)
E = Error permitido en la estimación de la velocidad de punto (km/h).

Según estos autores, los valores de referencia a considerar en vías urbanas son E=1.5 Km/h, S=8km/h y k=2 (con una confianza del 95.5% aproximadamente). Con esta fórmula se obtiene el mismo tamaño de muestra de 114.

Para recopilar la información, los sujetos encargados de tomar las mediciones disponían de una hora en la franja 17:45 a 18:45 y se les dio la indicación que el número de mediciones no debía ser inferior al requerido. Debido a que en algunos casos, el número de observaciones sería muy pequeño (2, 1 o 0 para buses, camiones, y bicicletas en algunos sentidos de circulación vial), se optó por tomar adicionalmente más mediciones para esas categorías de vehículos, teniendo en cuenta el mínimo número de vehículos de cada tipo que debían muestrearse según las proporciones registradas en la tabla 12. El número de mediciones registradas para cada vía y sentido de circulación, fueron:

Tabla 13. Tamaño de la muestra tomado en campo

Vía	N – S	S – N	E – N	E – S
Tipo Vehículo	**Tamaño de muestra en campo**			
Autos	94	89	91	104
Buses	20	22	0	0
Camiones	16	16	12	12
Motos	18	17	30	34
Bicicletas	12	12	3	3
T.MIXTO	160	156	136	153

Fuente: Elaboración propia año 2010.

Análisis descriptivo de los resultados.

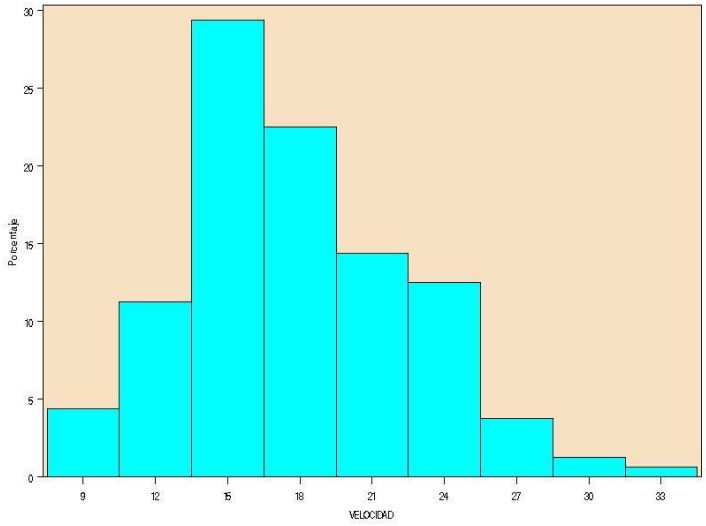
En primera instancia se calcula una serie de medidas descriptivas básicas para cada vía, discriminado por tipo de vehículo, y sentido de circulación vial. Se dará la interpretación de algunas medidas descriptivas básicas, para algunos de los tipos de vehículos. Para los demás la interpretación es similar.

Tabla 14. Resumen medidas de tendencia central de velocidades. N-S.

Tipo de vehículo	Media (km/h)	Mediana (km/h)	Desviación estándar (km/h)	Mínimo (km/h)	Máximo (km/h)
Sentido N – S					
Autos	17,88	16,66	4,56	11,12	34,40
Buses	15,43	16,28	4,06	8,27	23,23
Camiones	15,58	16,44	4,03	9,43	21,34
Motos	21,80	22,74	4,89	12,90	30,77
Bicicletas	18,66	19,35	4,77	10,8	26,41

Fuente: Elaboración propia año 2010.

Figura 12. Histograma N-S todos los vehículos.



Interpretación:

Para los autos.

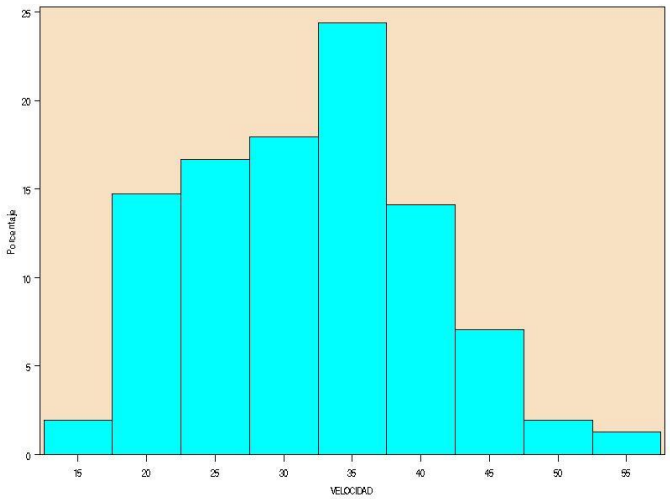
La velocidad promedio de circulación para los autos en sentido N-S, fue de 17,88 Km/h, con una desviación de 4,56 Km/h, lo que significa que la gran mayoría de autos circulan a velocidades entre 13,52 y 22,44 Km/h. La velocidad mínima registrada fue de 11,12 Km/h y la máxima de 34,40 Km/h. Al menos el 50% de los autos circula a velocidades inferiores o iguales a 16,66 Km/h.

Tabla 15. Resumen medidas de tendencia central de velocidades. S-N

Tipo de vehículo	Media (km/h)	Mediana (km/h)	Desviación estándar (km/h)	Mínimo (km/h)	Máximo (km/h)
Sentido S – N					
Autos	33,30	33,23	8,30	15,72	55,10
Buses	28,15	28,34	6,52	15,79	45,0
Camiones	31,0	34,2	7,33	18,4	41,7
Motos	35,33	33,96	7,68	21,64	49,09
Bicicletas	22,74	21,36	3,26	19,12	28,05

Fuente: Elaboración propia año 2010.

Figura 13. Histograma S-N todos los vehículos



Interpretación:

Para los autos.

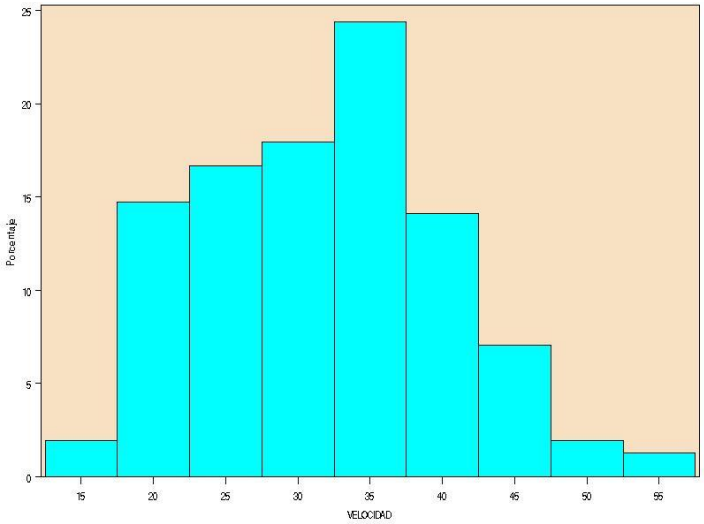
La velocidad promedio de operación para los autos en sentido S-N, fue de 33,30 Km/h, con una desviación de 8,30 Km/h, lo que significa que la gran mayoría de autos circulan a velocidades entre 25,0 y 41,6 Km/h. La velocidad mínima registrada fue de 15,72 Km/h y la máxima de 55,10 Km/h. Al menos el 50% de los autos circula a velocidades inferiores o iguales a 33,23 Km/h.

Tabla 16. Resumen medidas de tendencia central de velocidades. E-N

Tipo de vehículo	Media (km/h)	Mediana (km/h)	Desviación estándar (km/h)	Mínimo (km/h)	Máximo (km/h)
Sentido E - N					
Autos	24,47	24,19	5,93	10,63	41,86
Camiones	15,04	13,87	3,72	11,54	22,5
Motos	23,59	21,95	6,83	10,47	35,16

Fuente: Elaboración propia año 2010.

Figura 14. Histograma E-N para todos los vehículos



Interpretación:

Para los autos.

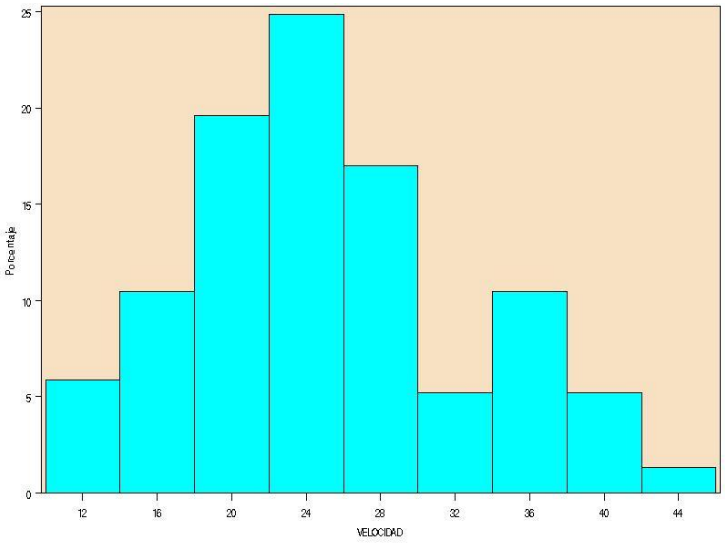
La velocidad promedio de circulación para los autos en sentido E-N, fue de 24,47 Km/h, con una desviación de 5,93 Km/h, lo que significa que la gran mayoría de autos circulan a velocidades entre 18,54 y 30,40 Km/h. La velocidad mínima registrada fue de 10,63 Km/h y la máxima de 41,86 Km/h. Al menos el 50% de los autos circula a velocidades inferiores o iguales a 24,19 Km/h.

Tabla 17. Resumen medidas de tendencia central de velocidades. E-S

Tipo de vehículo	Media (km/h)	Mediana (km/h)	Desviación estándar (km/h)	Mínimo (km/h)	Máximo (km/h)
Sentido E - S					
Autos	25,90	25,03	7,12	11,03	45,69
Camiones	18,06	17,84	4,43	11,54	26,79
Motos	25,87	26,55	8,26	13.43	44,78

Fuente: Elaboración propia año 2010.

Figura 15. Histograma E-S para todos los vehículos



Interpretación:

Para los autos.

La velocidad promedio de circulación para los autos en sentido E - S, fue de 25,90 Km/h, con una desviación de 7,12 Km/h, lo que significa que la gran mayoría de autos circulan a velocidades entre 18,78 y 33,02 Km/h. La velocidad mínima registrada fue de 11,03 Km/h y la máxima de 45,69 Km/h. Al menos el 50% de los autos circula a velocidades inferiores o iguales a 25,03 Km/h.

Fuente: Elaboración propia

Usualmente en este tipo de estudios se asume que las velocidades de circulación siguen una distribución normal. Para verificar este supuesto realizaremos una prueba de hipótesis, basados en la información recolectada. Primero verificaremos el supuesto para cada tipo de vía y sentido y luego discriminaremos en los casos que sean pertinentes.

Resultados del análisis de normalidad para los datos de velocidades.

Para todos los efectos, se realizará, en cada combinación de interés, una prueba de hipótesis cuyo objetivo es verificar si los datos de velocidades registrados se distribuyen normalmente (es decir, la variable aleatoria Velocidad, tiene una distribución Normal). Las hipótesis a contrastar son:

H_0 : Las velocidades se distribuyen normalmente
H_a : Las velocidades no se distribuyen normalmente

El estadístico de prueba usado es el de "Shapiro Wilks". La decisión se fundamentará en la probabilidad experimental de rechazar H_0 : dado que se asume cierta (dicha probabilidad es conocida como **Valor-p**.). Un Valor-p pequeño, indica que H_0 debe rechazarse y por lo tanto el supuesto de velocidades no es correcto.

La implementación de estas pruebas se realiza en el software estadístico **SAS**.

1. Discriminado solo por vía

a) **Carrera 43A (Avenida el Poblado) entre calles 5A y 1Sur. Sentido N-S**

Media muestral	Desviación estándar muestral
17.84	4.78

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		---P-valor----
Shapiro-Wilk	W 0.971901	Pr < W	**0.0024**

Dado que el Valor-p es pequeño, rechazamos H_0, es decir, la evidencia observada indica que las velocidades registradas en esta vía, en la dirección **N-S**, no son normales.

b) **Carrera 43A (Avenida el Poblado) entre calles 5A y 1Sur . Sentido S-N**

Media muestral	Desviación estándar muestral
31.75	8.24

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		---P-valor----
Shapiro-Wilk	W 0.985956	Pr < W	**0.1166**

Dado que el Valor-p es grande, no podemos rechazar H_0, es decir, la evidencia observada no es suficiente para indicar que las velocidades no sean normales, es decir, asumimos que las velocidades registradas en esta vía, en la dirección **S-N**, son normales.

c) **Acceso Oriental del cruce Cr 43A con Cl 1Sur, E-N. (giro a la derecha)**.

Media muestral	Desviación estándar muestral
23.54	6.50

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		---P-valor----
Shapiro-Wilk	W 0.987212	Pr < W	**0.2397**

Dado que el Valor-p es grande, no podemos rechazar H_0, es decir, la evidencia observada no es suficiente para indicar que las velocidades no

sean normales, es decir, asumimos que las velocidades registradas en esta vía, en la dirección **E-N**, son normales.

d) **Acceso Oriental del cruce Cr 43A con Cl 1Sur, E-S. (Giro a izquierda)**.

Media muestral	Desviación estándar muestral
25.18	7.46

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		---P-valor----	
Shapiro-Wilk	W	0.973367	Pr < W	**0.0046**

Dado que el Valor-p es pequeño, rechazamos H_0, es decir, la evidencia observada indica que las velocidades registradas en esta vía, en la dirección **E-S**, no son normales.

2. Discriminado por vía y Tipo

Dado que no se comprobó normalidad en la vía N-S y en la E-S, verificaremos si hay normalidad discriminando por el Tipo de vehículo.

- **Sentido N-S discriminado por Tipo de Vehículo**

  - **Auto**

Media muestral	Desviación estándar muestral
17.88	4.56

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.919684	Pr < W	**< 0.0001**

Se verifica no-normalidad en las velocidades, para los Autos

  - **Bicicleta**

Media muestral	Desviación estándar muestral
18.66	4.77

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.971179	Pr < W	**0.9228**

Se verifica normalidad en las velocidades, para las Bicicletas.

- **Buses**

Media muestral	Desviación estándar muestral
15.43	4.06

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.949771	Pr < W	**0.3636**

Se verifica normalidad en las velocidades, para las Buses.

- **Camión**

Media muestral	Desviación estándar muestral
15.58	4.03

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.913698	Pr < W	**0.1335**

Se verifica normalidad en las velocidades, para los Camiones.

- **Motos**

Media muestral	Desviación estándar muestral
21.80	4.89

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.940015	Pr < W	**0.2900**

Se verifica normalidad en las velocidades, para las Motos.

- **Sentido E-S (giro a izquierda) discriminado por tipo de vehículo**

  - **Auto**

Media muestral	Desviación estándar muestral
25.90	7.12

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.961243	Pr < W	**0.0039**

Se verifica no-normalidad en las velocidades, para los Autos.

- **Bicicletas**

Media muestral	Desviación estándar muestral
20.69	2.82

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.949254	Pr < W	**0.5660**

Se verifica normalidad en las velocidades, para las Bicicletas (Esto no es muy concluyente, ya que solo se tienen tres observaciones).

- **Camión**

Media muestral	Desviación estándar muestral
18.07	4.43

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.972055	Pr < W	**0.9311**

Se verifica normalidad en las velocidades, para los Camiones.

- **Motos**

Media muestral	Desviación estándar muestral
25.87	8.26

Test para normalidad

Test	-Estadístico--		-----P-valor------	
Shapiro-Wilk	W	0.964016	Pr < W	**0.3171**

Se verifica normalidad en las velocidades, para las Motos.

Resultados tablas de frecuencias para velocidades.

La siguiente sección describe el análisis de los resultados del estudio de velocidades evaluadas para la hora de máxima demanda por tipo de vehículo, el resumen de los datos tomados en campo se presenta en tablas, gráficas de histogramas de frecuencia y curvas de velocidades acumuladas, que determinan entre otros aspectos el rango de variación de las velocidades a través del cálculo de las medidas de tendencia central, en cada sentido de circulación.

Al discriminar por tipo de vehículo se obtuvo:

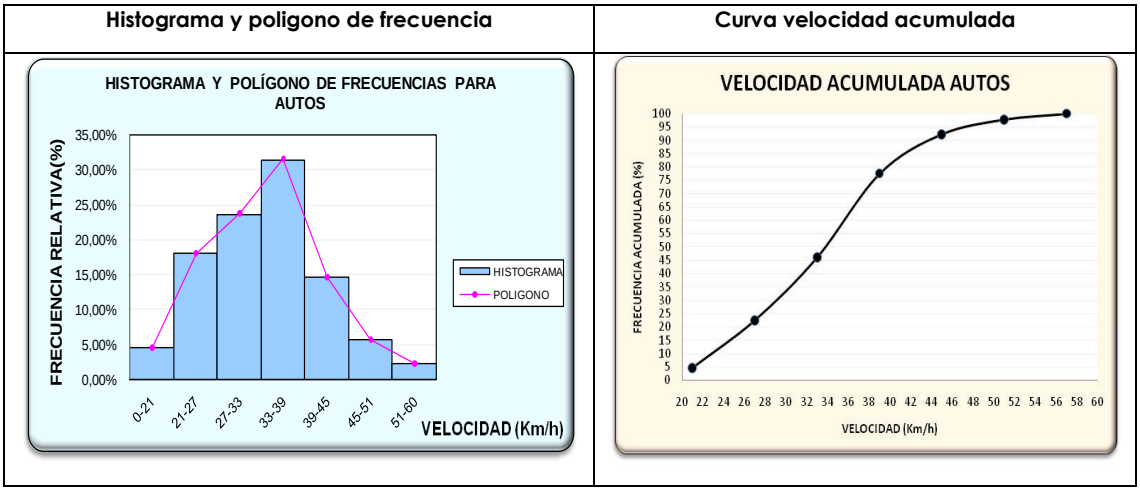
SENTIDO S-N

Tabla 18. Autos resultados frecuencia de velocidad S-N

LI	LD	PUNTO MEDIO	FRECUENCIA	FREC ACUM	FREC. RELATIVA	RELATIVA ACUMULADA
15	21	18	4	4	4,49	4,49
21	27	24	16	20	17,98	22,47
27	33	30	21	41	23,6	46,07
33	39	36	28	69	31,46	77,53
39	45	42	13	82	14,61	92,13
45	51	48	5	87	5,62	97,75
51	57	54	2	89	2,25	100

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Autos - histograma, polígono de frecuencia y curva de velocidad S-N



Fuente: Elaboración propia

Del histograma se observa que la gran mayoría de autos tienen velocidades concentradas entre 21 y 45 Km/h. Se observa además una leve cola a la derecha que indica que la proporción de autos con velocidades superiores a 45 Km/h es pequeña (el 2,25%).

De la tabla de frecuencias se concluye que el 77% aproximadamente de los autos circulan a menos de 39Km/h. Además el 85% de los autos circulan a velocidades inferiores o iguales a 42,1 km/h.

Tabla 19. Buses resultados frecuencia de velocidad S-N

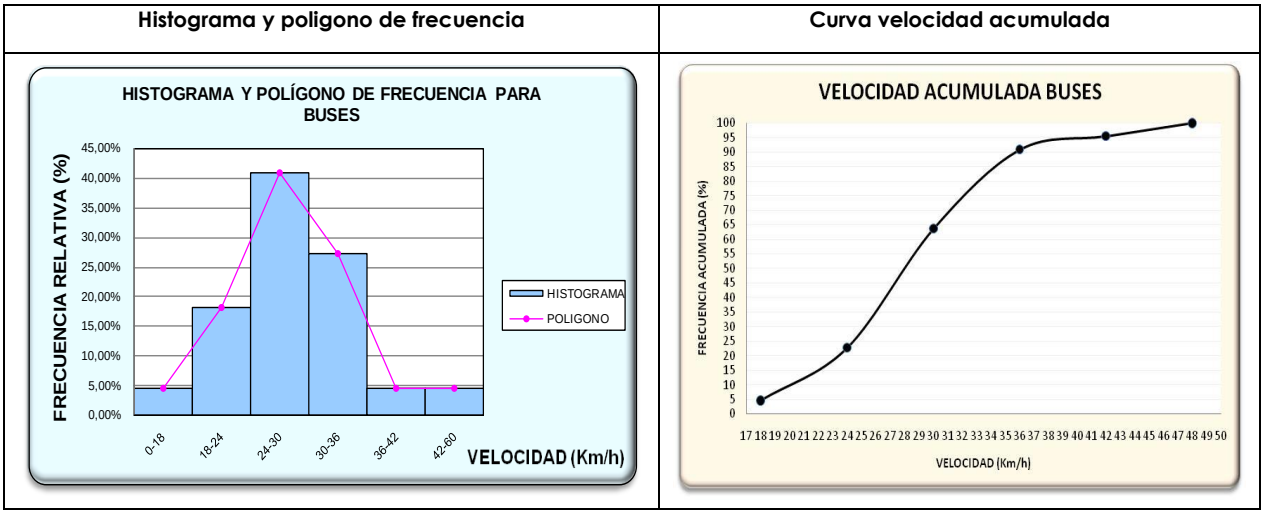
LI	LD	PUNTO MEDIO	FREC	FREC ACUM	FREC. RELATIVA	RELATIVA ACUMULADA
12	18	15	1	1	4,55	4,55
18	24	21	4	5	18,18	22,73
24	30	27	9	14	40,91	63,64
30	36	33	6	20	27,27	90,91
36	42	39	1	21	4,55	95,45
42	48	45	1	22	4,55	100

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

La gran mayoria de buses registran velocidades entre 18 y 36 km/h, del histograma se observa una cola final de velocidad entre 36 y 48 km/h.

Figura 17. Buses - histograma, polígono de frecuencia y curva de velocidad S-N



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Camiones resultados frecuencia de velocidad S-N

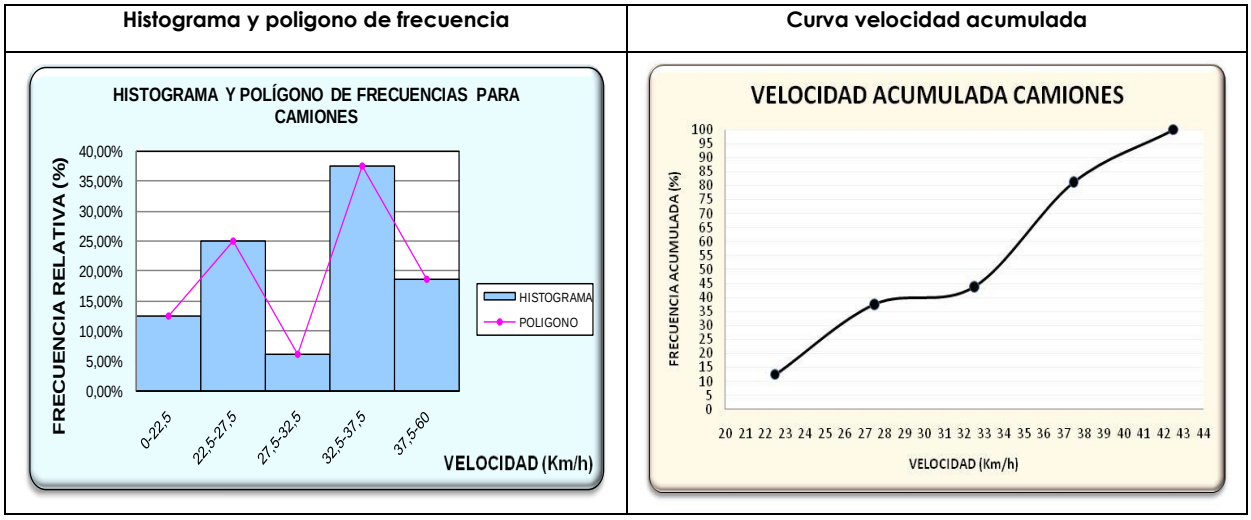
LI	LD	PUNTO MEDIO	FREC	FREC ACUM	FREC. RELATIVA	RELATIVA ACUMULADA
17,5	22,5	20	2	2	12,5	12,5
22,5	27,5	25	4	6	25	37,5
27,5	32,5	30	1	7	6,25	43,75
32,5	37,5	35	6	13	37,5	81,25
37,5	42,5	40	3	16	18,75	100

Interpretación:

El 85% de los camiones opera a velocidades inferiores o iguales a 38,7 km/h.

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Camiones - histograma, polígono de frecuencia y curva de velocidad S-N



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Bicicletas resultados frecuencia de velocidad S-N

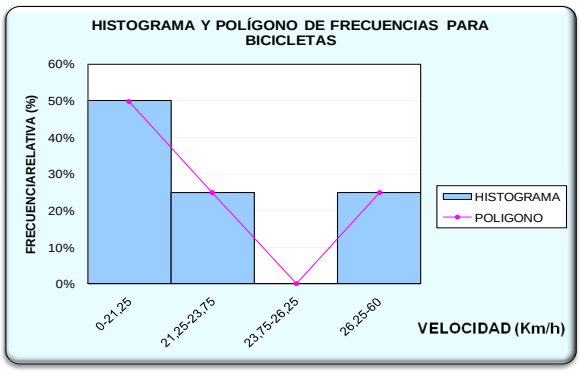
LI	LD	PUNTO MEDIO	FREC	FREC ACUM	FREC. RELAT	RELATIVA ACUMUL
18,75	21,25	20	6	6	50	50
21,25	23,75	22,5	3	9	25	75
23,75	26,25	25	0	9	0	75
26,25	28,75	27,5	3	12	25	100

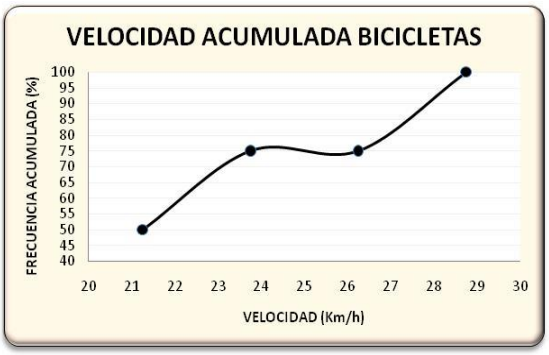
Interpretación
Para esta categoría la mayor parte de las velocidades están aproximadamente entre 19 y 24 km/h; además el percentil 85 de la velocidad circula debajo o igual a 44,2 km/h.

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Bicicletas - histograma, polígono de frecuencia y curva de velocidad S-N

Histograma y poligono de frecuencia	Curva velocidad acumulada





Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Motos resultados frecuencia de velocidad S-N

LI	LD	PUNTO MEDIO	FREC	FREC ACUM	FREC, RELATIVA	RELATIVA ACUMULADA
21	27	24	2	2	11,76	11,76
27	33	30	5	7	29,41	41,18
33	39	36	4	11	23,53	64,71
39	45	42	4	15	23,53	88,24
45	*51*	*48*	*2*	*17*	*11,76*	*100*

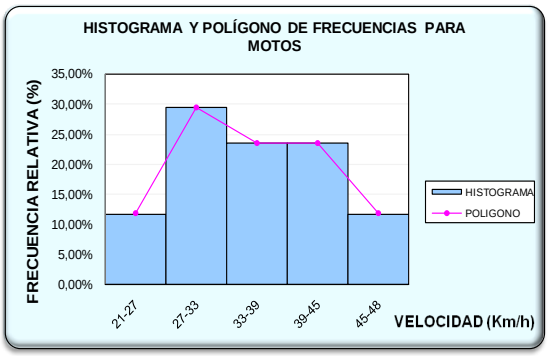
Fuente: Elaboración propia

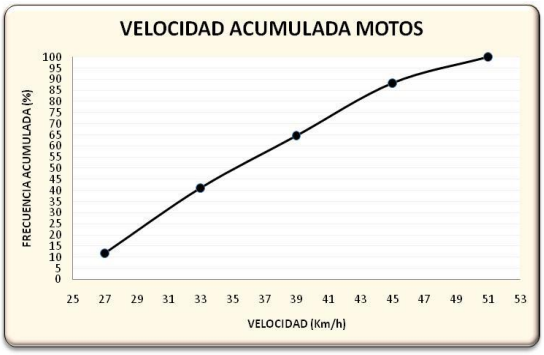
Interpretación

Se infiere del histograma que las velocidades principalmente estan entre 27 y 45 km/h. El 85% de los conductores transitan a velocidades inferiores o iguales a 27,2 km/h.

Figura 20. Motos - histograma, polígono de frecuencia y curva de velocidad S-N

Histograma y poligono de frecuencia	Curva velocidad acumulada





Fuente: Elaboración propia

El análisis descriptivo para los sentidos de circulación Norte - Sur, Este - Norte y Este - Sur, se presenta en el Anexo N2, y los datos correspondientes al percentil 85 se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 23. Percentil 85 de la velocidad

Tipo de vehículo	SENTIDO N-S	SENTIDO S-N	SENTIDO E-N	SENTIDO E-S
	Percentil 85(%)			
Autos	23,0 km/h	42,1 km/h	30,3 km/h	34,8 km/h
Buses	19,5 km/h	34,7 km/h	-	-
Camiones	20,6 km/h	38,7 km/h	20,2 km/h	23,7 km/h
Motos	26,6 km/h	27,2 km/h	32,2 km/h	34,9 km/h
Bicicletas	23,0 km/h	44,2 km/h	-	-

Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Año 2010.

4.2.1.3 Estudios de permanencia de las rutas de transporte público sobre P/B.

En el mes de noviembre de 2010 se realizaron aforos en los P/B autorizados sobre las bahías de estacionamiento localizadas en los sentidos N-S y S-N de la Avenida el Poblado entre calles 5A y 1Sur, contabilizando el tiempo que el transporte público se detiene en el P/B. Los siguientes gráficos representan la distribución de dichos tiempos para los dos sentidos.

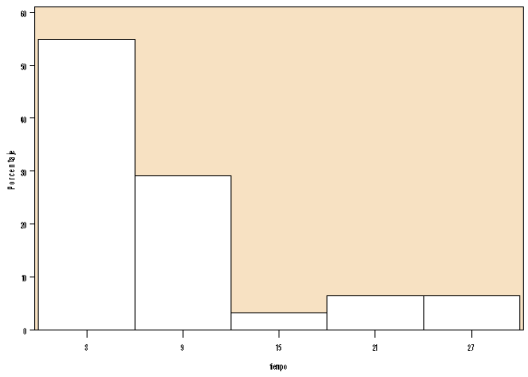
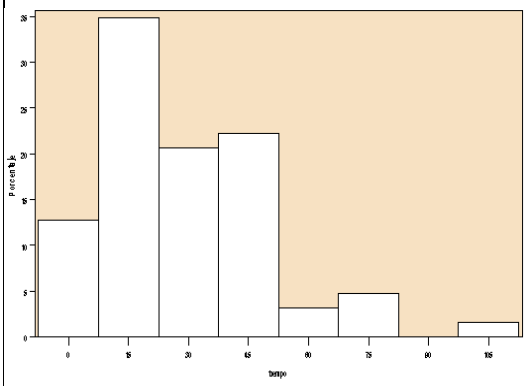
La evidencia gráfica del histograma que se presenta a continuación, parece indicar que los tiempos de parada no tienen un comportamiento normal. Algunos estadísticos descriptivos básicos son:

Tabla 24. Medidas de tendencia central sobre P/B.

Bahía de estacionamiento	Sentido N-S. (segundos)	Sentido S-N. (segundos)
Media	7,90	30,24
Mediana	5	28
Desviación estándar	6,59	21,80
Mínimo	3	2
Máximo	27	106
Número de observaciones	31	63

Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Noviembre de 2010.

Figura 21. Histograma de frecuencia sobre P/B

Norte-Sur	Sur-Norte
	

Fuente: Elaboración propia - noviembre de 2010.

El siguiente gráfico se conoce como Box-Plot. Este gráfico permite comparar la misma característica para dos poblaciones diferentes, en cuanto a su variabilidad, agrupamiento y percentiles.

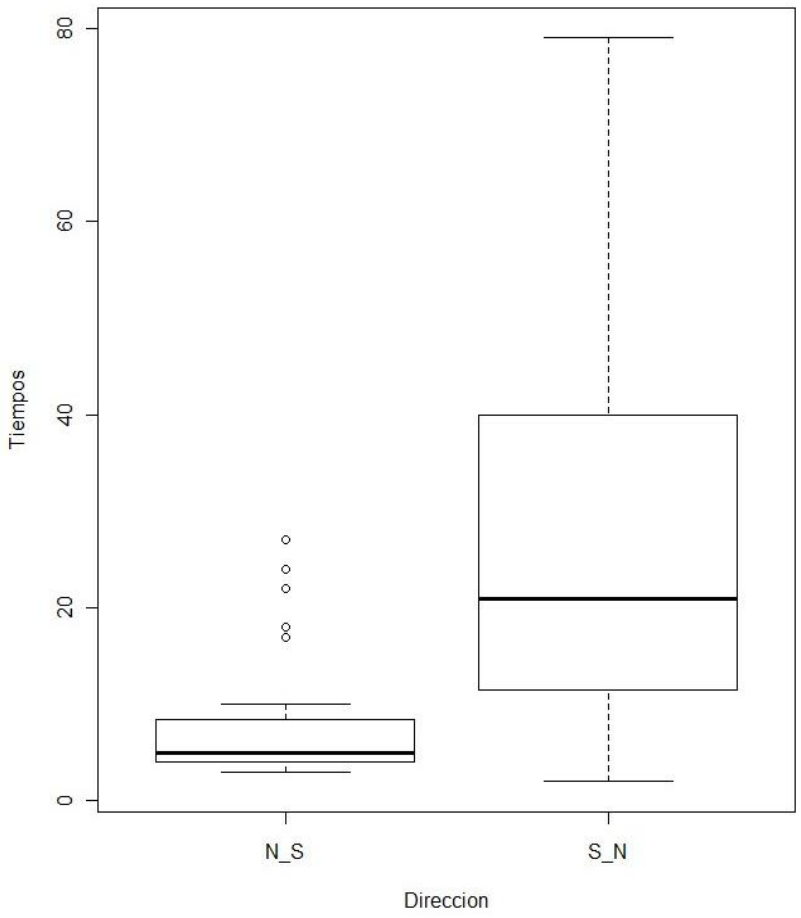
De este gráfico se ve claramente como los tiempos de parada son muy variables para la dirección S_N y poco dispersos para la dirección N_S. (Esto se debe en gran parte a que en la franja horaria 17:45 - 18:45 el sentido de circulación Norte - Sur presenta gran congestión, mientras que de sur a norte ocurre todo lo contrario).

Bahía de estacionamiento sentido N-S: En promedio los buses usan un tiempo de parada alrededor de 7,9 seg, con una desviación estándar de 6,6 seg, que indica

que la mayoría de buses emplean tiempos de parada entre 3 y 14,5 seg. El 50% de los buses emplean tiempos de parada inferiores o iguales a 5 segundos.

Bahía de estacionamiento sentido S-N: En promedio los buses usan un tiempo de parada alrededor de 30,2 seg, con una desviación estándar de 21,8 seg, que indica que la mayoría de buses emplean tiempos de parada entre 8,4 y 52 seg. El 50% de los buses emplean tiempos de parada inferiores o iguales a 28 segundos.

Figura 22. Gráfico Box-Plot. Distribución DE tiempos por dirección



Fuente: Elaboración propia

Como antes realizamos una prueba de hipótesis para verificar normalidad de los tiempos de parada. La hipótesis está relacionada en referencia a si los tiempos de parada son normales. La estadística usada será la de Shapiro Wilks.

Tabla 25. Prueba de Shapiro Wilks

Bahía de estacionamiento sentido N-S			Bahía de estacionamiento sentido S-N		
Tests para normalidad			Tests para normalidad		
Test	Estadístico	P-valor	Test	Estadístico	P-valor
Shapiro-Wilk	0.714905	<0.0001	Shapiro-Wilk	0.90986	0.0002

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la prueba Shapiro Wilks, se detecta que no hay normalidad para ninguna de las bahías de estacionamiento en cuanto a los tiempos de parada del transporte público sobre los P/B autorizados durante la hora pico evaluada.

4.2.1.4 Aforos del tráfico en general sobre la subred vial estudiada

Para la representación del modelo uno de los puntos de partida para alimentar la construcción de la red lo constituyen los aforos. Se presentan a continuación aforos en los ingresos de cada intersección dentro de la subred vial evaluada. Para mayor detalle consultar Anexo N 3. (Aforos de tráfico microsimulación)

Como base para conocer la hora de mayor congestión, se tomo el estudio más reciente de modelación efectuado sobre la comuna el Poblado, realizado en noviembre del año 2008 por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, en donde se evalúo la demanda vehicular máxima para el período pico de la tarde. El estudio determinó la hora pico de las transversales inferior, superior, y Avenida 34, para el período comprendido entre las 17:00 – 18:00 horas. El estudio, también consideró aforos sobre la Avenida Poblado, y de acuerdo a estos registros para el corredor objeto de estudio denominado la "Milla de Oro" sobre la Avenida el Poblado, se extracto el pico de mayor demanda correspondiente a la franja horaria de las 17:45 a las 18:45.

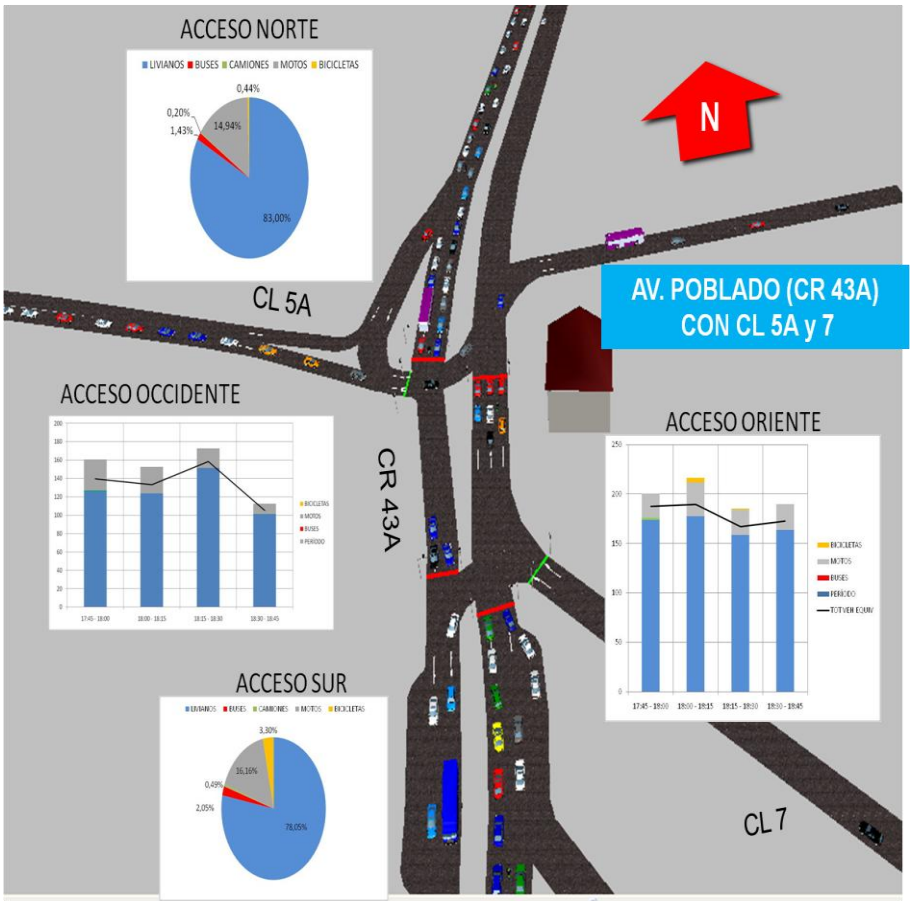
Con base en la franja horaria de mayor afluencia vehicular (17:45 – 18:45), se realizaron aforos en noviembre del año 2010, sobre cada una de las intersecciones objeto de estudio en una extensión vial de un kilometro. La medición de volúmenes se realizó, sobre las intersecciones semaforizadas de las calles 1Sur (Loma de los Parras), 3Sur (Loma de Alejandría), 4Sur y 5Sur (Loma de los González), y sobre los cruces controlados a prelación de las calles 3, 1A Sur, además de la salida del Centro Comercial San Fernando Plaza sobre la Avenida el Poblado. El aforo del cruce semaforizado de la Avenida el Poblado con calles 5A - 7, fue tomado del estudio elaborado por la Universidad Nacional y proyectado al año 2010.

Tabla 26. Carrera 43A con Calles 5A y 7.

ENTRADAS	VOLUMEN Veh/h	COMPOSICIÓN VEHICULAR				
		Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas
Acceso Norte	2.269	83%	1,43%	0,20%	14,94%	0,44%
Acceso Occidental	599	83,99%	0%	0,19%	15,83%	0%
Acceso Oriental	792	85,07%	0,00%	0,28%	13,94%	0,70%

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, noviembre año 2008 – Proyecciones año 2010.

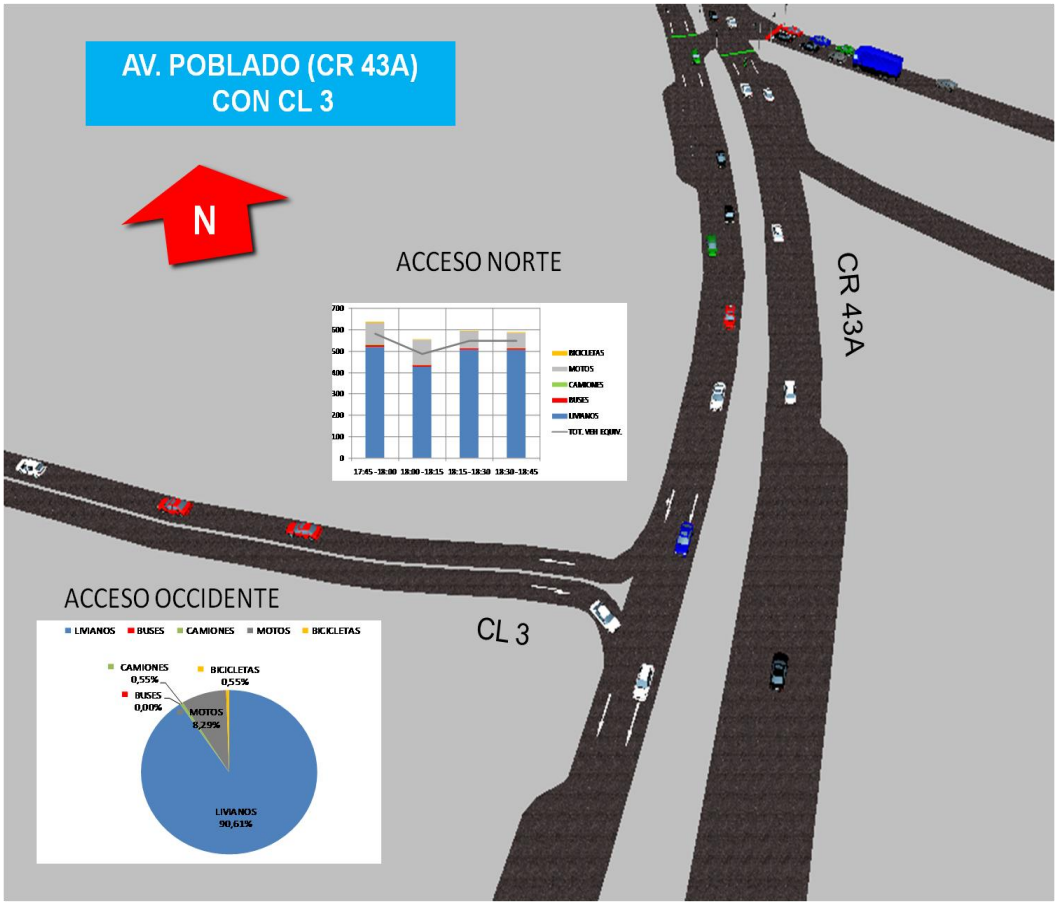
Figura 23. Carrera 43A con Calles 5A y 7



Fuente: Elaboración propia

Este cruce es regulado mediante dispositivos de semáforos semiactuados, el volumen total que ingresa a esta intersección por medio de los accesos norte, este y oeste en la franja de la hora pico correspondiente entre las 17:45 horas y las 18:45 horas, es de 3.660 vehículos/hora, desagregados en la tabla 26.

Figura 24. Carrera 43A con Calle 3



Fuente: Elaboración propia

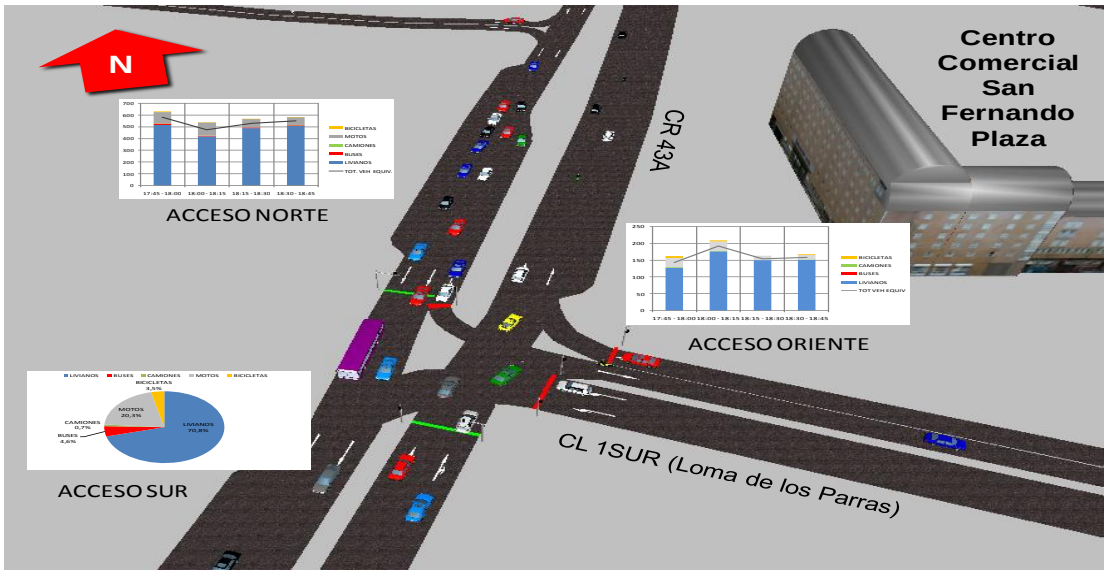
El volumen que ingresa a esta intersección en la hora pico correspondiente entre las 17:45 horas y las 18:45 horas, a través del acceso occidental es de 181 vehículos/hora, relacionado en la tabla 27. El cruce es una intersección en T, regulada a prelación mediante señal de pare. Se aclara que la tabla 27, únicamente contiene el acceso occidental de la red vial evaluada en el software Vissim, puesto que el volumen del acceso norte de la calle 3, ya fue tenido en cuenta desde la intersección previamente anterior, y para este caso sería un punto intermedio de volumen, y no constituye una entrada a la red evaluada. Esta misma metodología se replica en todos los cruces que constituyen la red vial objeto de estudio, corredor vial Cr 43A entre calles 5A - 7 y 4 Sur – 5 Sur, ("Milla de Oro").

Tabla 27. Carrera 43A con Calle 3

ENTRADAS	VOLUMEN Veh/h	COMPOSICIÓN VEHICULAR				
		Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas
Acceso Occidental a la malla vial	181	90,61%	0%	0,55%	8,29%	0,55%

Fuente: Elaboración propia – aforos realizados en el año 2010.

Figura 25. Carrera 43A con Calle 1 Sur



Fuente: Elaboración propia

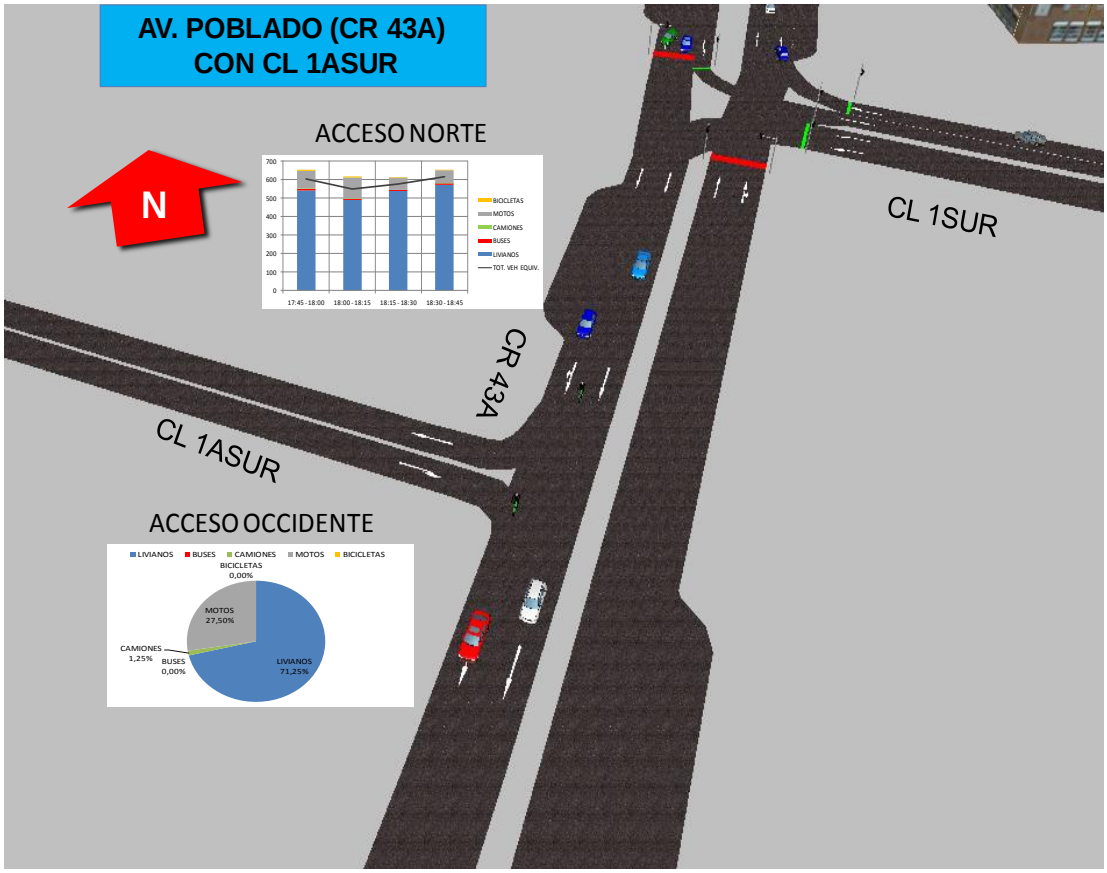
La intersección funciona mediante un control semaforizado semiactuado, y el volumen que entra por el acceso oriental, en la franja de la hora punta 17:45 - 18:45, es de 705 vehículos/hora, repartidos así:

Tabla 28. Carrera 43A con Calle 1Sur

ENTRADAS	VOLUMEN Veh/h	COMPOSICIÓN VEHICULAR				
		Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas
Mov E_N	297	80,00%	0,00%	1,0%	17%	2%
Mov E_S	408	90,71%	0%	0,55%	7,65%	1,09%

Fuente: Elaboración propia – aforos realizados en el año 2010.

Figura 26. Carrera 43A con calles 1A Sur



Fuente: Elaboración propia

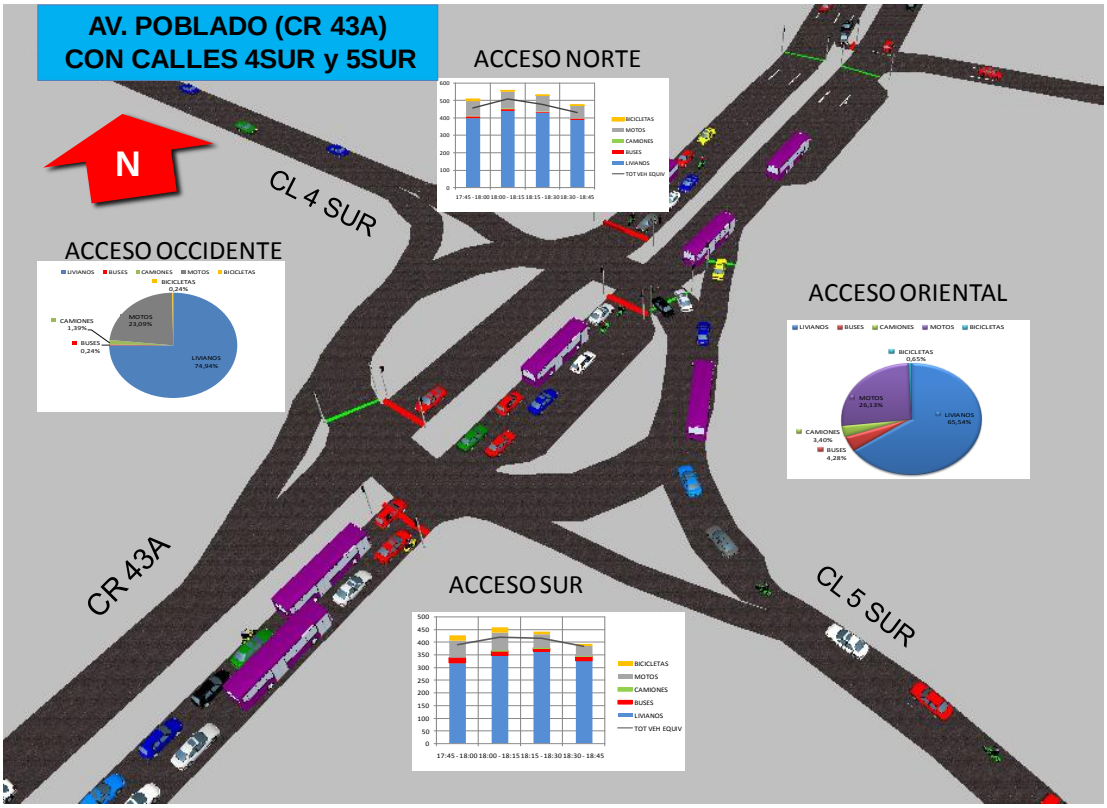
Es un cruce de 2 vías reguladas con señal de "pare", el volumen de la intersección que ingresa por el acceso occidental en la franja de la hora pico correspondiente entre las 17:45 horas y las 18:45 horas, es de 80 vehículos/hora, discriminados así:

Tabla 29. Carrera 43A con Calle 1A Sur

ENTRADAS	VOLUMEN Veh/h	COMPOSICIÓN VEHICULAR				
		Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas
Acceso Occidental	80	71,25%	0%	1,25%	27,50%	0,00%

Fuente: Elaboración propia – aforos realizados en el año 2010.

Figura 27. Carrera 43A con calles 4 Sur y 5 Sur



Fuente: Elaboración propia

El volumen total que llega a esta intersección proveniente de los accesos occidente, oriente, y sur, en la hora pico correspondiente entre las 17:45 horas y las 18:45 horas, es de 2.699 vehículos/hora, la intersección funciona con dispositivos de semáforos mediante semiactuación de la demanda.

Tabla 30. Carrera 43A con Calle 4 Sur y 5 Sur

ENTRADAS	VOLUMEN Veh/h	COMPOSICIÓN VEHICULAR				
		Livianos	Buses	Camiones	Motos	Bicicletas
Acceso Occidental	456	74,94%	0,24%	1,39%	23,09%	0,24%
Acceso Oriental	518	65,54%	4,28%	3,40%	26,13%	0,65%
Acceso Sur	1.725	78,72%	4,07%	0,19%	13,46%	3,55%

Fuente: Elaboración propia – aforos realizados en el año 2010.

4.2.2 Metodología de construcción del modelo

La forma en que se elabora el modelo se ilustra a continuación:

4.2.2.1 Construcción de la red.

a. Las redes de microsimulación demandan un trabajo de ingeniería de detalle en su construcción y por lo mismo requieren una gran cantidad de información de terreno. Los pasos a seguir en la construcción de las redes comienzan con la generación de planos base e imágenes para configurar la malla vial con la geometría del área, sobre la cual se codifican de manera gráfica los arcos y conectores, incluyendo todas sus características físicas. Los arcos representan los tramos de vía y los conectores representan las áreas de enlace entre los arcos (intersecciones, uniones de calzadas, áreas de conflictos).

b. Para la generación de planos e imágenes se parte de la cartografía actualizada que considera las últimas modificaciones de infraestructura, lo cual fue verificado en campo según varias visitas realizadas a lo largo del corredor evaluado de la Avenida el Poblado, sin embargo, fue necesario buscar otra fuente de información para complementarla. Para esto se han usado las fotografías áreas de Google Earth, actualizadas en los sectores objeto de estudio a mayo de 2008.

c. Para la codificación de los arcos se incluyo la información registrada en el levantamiento de tramos, que incorpora directamente anchos de calzada, cantidad de carriles, sentido de circulación del tránsito, pendientes y usos de los carriles (ejemplo: restricciones de capacidad por uso de carriles para parqueo, etc). El estado del pavimento y el estado de la señalización no se incorporan de manera directa al modelo, pero se usa esta información para hacer modificaciones en caso de requerirse.

d. En esta etapa el software también es alimentado con el tipo de vehículos (livianos, buses, camiones, motos, bicicletas), reglas de prioridad cuando se trata de intersecciones no semaforizadas, tiempos de reparto del ciclo, decisiones de trayectoria de vehículos, y paradas establecidas para el uso del transporte público, etc.

e. Una vez que se tiene construida la red, y que se incorpora la información de demanda (tráficos), se hacen ajustes de parámetros operacionales, como velocidades (curvas de distribución), máxima y mínima aceleración y deceleración, composición del tráfico, parámetros de comportamiento del conductor, tiempos de permanencia del transporte público en P/B (curvas de distribución), período de simulación, modificación a algunas reglas de prioridad, y áreas de conflicto en caso de que el modelo lo requiera.

f. En general en cuanto a los parámetros de comportamiento de los conductores (Modelo Wiedemann 74) es preferible no cambiarlos, a menos que estos representen

alguna variable que pueda ser observada en terreno. (Ver etapa de calibración del modelo)

4.2.2.2 Procesamiento de información de tráfico

g. Los modelos de microsimulación pueden alimentarse de tráfico de dos formas diferentes: introduciendo directamente en cada intersección o bifurcación las proporciones de vehículos que hacen cada movimiento, o ingresando matrices origen – destino y permitiendo que el programa realice la asignación según los costos asociados a cada ruta. Para la construcción del modelo, se ha determinado usar el primer método, dado que el modelo es pequeño.

h. La información correspondiente a la demanda vehicular es alimentada al modelo en cada una de las entradas que configuran la red vial analizada, incluyendo su composición vehicular y cantidad de vehículos que hacen los distintos movimientos permitidos en las intersecciones.

i. Tanto los volúmenes de entrada como las proporciones se introdujeron al modelo en subperíodos de 15 minutos, para incorporar las variaciones de tráfico que se dan durante el período de modelación. Esta información también esta desagregada por tipo de vehículo (livianos, motos, camiones, buses, bicicletas).

4.2.2.3 Calibración del modelo

Para realizar la calibración de los modelos de microsimulación se deben realizar las siguientes tareas básicas: La construcción de una red básica de modelación, que representará la red vial existente en la actualidad, y la obtención de flujos por movimiento y tipo de vehículo, que incorpora el volumen y estructura de la demanda actual en el sector.

También se tendrá en cuenta para la calibración del modelo, las medidas de campo tomadas en el terreno en referencia a las velocidades, largos de cola, y comportamientos de los conductores de la ciudad de Medellín, en la hora punta sobre el tramo objeto de estudio. Adicionalmente, se tiene presente la elaboración de videos de la movilidad actual.

La información requerida en esta etapa de calibración, se resume en la tabla 31.

Tabla 31. Información requerida para la calibración del modelo de la situación base.

Información	Utilidad	Objetivo	Fuente
Cartografía existente	Geometría	Construcción de la red	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Fotos satelitales	Geometría	Construcción de la red	Google Earth. Actualización mayo 2008.
Levantamiento de la red vial	Anchos de calzadas, pendientes, estado del pavimento, y señalización	Codificación de "Arcos" o "Links"	Elaboración propia.
levantamiento de intersecciones	Identificación de las intersecciones que operen a prioridad, o por medio de semáforos.	Codificación de intersecciones (conectores)	Elaboración propia .
Programaciones de semáforo	Identificación de la estrategia de control, y consecuentemente con ello su ciclo, reparto y desfasaje.	Construir la red de semáforos	Secretaria de Transportes y Tránsito de Medellín
Investigación del transporte público	Identificación de rutas de transporte público, paraderos, detenciones en P/B.	Incorporación del transporte público	Elaboración propia por medio de aforos sobre las bahías que tienen actualmente establecido parada de buses.
Mediciones de flujo vehicular	Volúmenes vehiculares por arco y movimiento, factor hora de máxima demanda (FHMD), intensidad del flujo.	Información de demanda, perfiles de tráfico	Elaboración propia
Visitas a terreno	Comportamiento de los conductores, largos de cola, Velocidades, aceleraciones/deceleraciones, elaboración de videos de la movilidad actual, etc.	Construcción de la red y calibración	Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia.

Durante la etapa de calibración del modelo, cobró importancia:

a) Calibración del comportamiento de los conductores para el tramo vial analizado.

En el comportamiento de los conductores, es importante notar que el modelo Wiedemann 74, está fundamentado en:

- ✓ **Distancia estática Promedio:** (ax) define el promedio de la distancia entre dos vehículos que se encuentran detenidos, la cual tuvo una variación fija de ±1m.

- ✓ **Parte aditiva y multiplicativa de la distancia de seguridad**: (bx_add) y (bx_mult). Estas afectan la distancia de seguridad (d). La distancia d entre dos vehículos está calculada usando la siguiente fórmula:

Ecuación 24. $$d = ax + bx$$

Donde:

d **:** Distancia entre dos vehículos

ax: Distancia estática y, bx: Parte aditiva y multiplicativa de la distancia de seguridad.

Ecuación 25. $$bx = (bx_add + bx_mult * z) * \sqrt{v}$$

Donde:

v : Velocidad del vehículo.

z : Distribución normal con un rango de [0,1] alrededor de 0.5 con una desviación estándar de 0.15.

(bx_add**) y (**bx_mult**):** Parte aditiva y multiplicativa de la distancia de seguridad.

Estos parámetros pueden afectar la capacidad de la vía, y la calibración del modelo.

Para el software de microsimulación VISSIM, la configuración de los parámetros de conducción basada en el modelo Wiedemann 74, está dada en 4 niveles:

- ***Primer nivel:*** *Número de vehículos observados hacia adelante, distancia de seguimiento hacia adelante, y hacia atrás:*

En este aspecto para las condiciones locales de la ciudad de Medellín sobre la Avenida el Poblado, en cuanto a la configuración de los parámetros del conductor **(Driving behavior parameter sets),** se estableció para el modelo de seguimiento de los vehículos, 2 como el número de vehículos observados por el conductor hacia adelante en vez de 4 que trae el software por defecto, recomendación realizada por la firma consultora Steer Davies[4], de acuerdo a experiencia en el manejo de Vissim para vías arterias urbanas Colombianas evaluadas en período punta, según el cono de percepción de los ojos de los conductores para la franja horaria de las 17:45 a las 18:45 sobre la Avenida el Poblado – tramo vial "Milla de Oro". Adicionalmente para este tramo vial, se configuraron los parámetros *Average standstill distance*[4] : 1 m, *additive part of safety distance*[4]: 2 m, *multiplic part ofsafety distance*[4]: 3 m.

- ***Segundo nivel:*** *Cambio de carril.*

El modelo contempla dentro de su calibración para Medellín específicamente para el tramo vial estudiado, dos cambios de carril básicos, en ambos casos el conductor debe hallar una brecha, o espaciamiento conveniente en la dirección del flujo.

a. Cambio de carril necesario para continuar por un conector y seguir la ruta asignada. Los parámetros de comportamiento de conducción contienen una máxima deceleración aceptable para el vehículo que se encuentra en el carril, y desea cambiar (-4m/seg2) [4], y para el vehículo que quedará detrás en el nuevo carril (-3m/seg2)[4], dependiendo de la posición de la parada de emergencia en el próximo conector de la ruta. (Sin embargo, generalmente se acepta que la deceleración esta alrededor de -1m/seg2 en ambos casos[4])

b. Cambio de carril libre: cambiar a un carril de velocidad más alta. En este sentido se le dió la instrucción a Vissim para que chequee la distancia de seguridad deseada del vehículo que quedará atrás en el nuevo carril. Esta distancia de seguridad depende de la velocidad de este vehículo, y del vehículo que desea cambiar de carril

- ***Tercer nivel:*** *Comportamiento lateral.*

Por defecto en Vissim un vehículo ocupa el ancho entero de un carril, pero esta situación no corresponde a la realidad. Como bien sabemos, los parámetros del

[4] Steer Davies. Curso Básico Vissim. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2010.

comportamiento lateral permiten viajar a diferentes posiciones laterales y también sobrepasar vehículos que se encuentran en el mismo arco si el ancho es suficiente; este efecto se incorporo para todas las tipologías de vehículos, y es notorio específicamente para el tipo de vehículo moto, y bicicleta en la ciudad de Medellín, puesto que en su comportamiento nunca ocupan la totalidad del ancho del carril, circulando constantemente en Zig-Zag. Estos tipos de comportamiento al conducir se tuvieron en cuenta para todo tipo de vehículos al momento de calibrar el modelo para la condición local en estudio, obteniéndose un modelo lo más cerca posible a la realidad.

- Cuarto nivel: *Control por semaforización.*

Incluye 2 aspectos básicos:

- ✓ **Reacción al amarillo:** Este parámetro define el comportamiento del conductor que se encuentre frente a un semáforo que está en amarillo, en tal sentido la calibración realizada permitió que siempre se dé un chequeo: Los conductores al observar la luz amarilla del semáforo continuamente deciden seguir o parar en el semáforo. Tres parámetros son usados para calcular la probabilidad de que el conductor pare, frente a la luz amarilla. Ver Ecuación 26.

Ecuación 26. $$p = \frac{1}{1 + e^{-\alpha - \beta_1 v - \beta_2 dx}}$$

Donde:

P: Probabilidad de que el conductor pare frente a la luz amarilla, y se calcula utilizando una función de regresión con la velocidad actual, y la distancia como variable independiente desde la parte delantera del vehículo a la línea de parada, y 3 parámetros de ajuste dados por (*Alpha: 1,59, Beta1 : -0,26 , Beta 2: 0,27*); los valores de los parámetros siempre se han derivado de los datos empíricos en vías[4].

- ✓ **Reducción de la distancia de seguridad cerca a la línea de pare**: Este parámetro define el comportamiento del vehículo frente a la línea de pare, pudiéndose programar la distancia corriente arriba/abajo del semáforo, para la calibración del caso en estudio se tomo un valor de 0,60 metros.

b) Calibración de flujos medidos en arcos

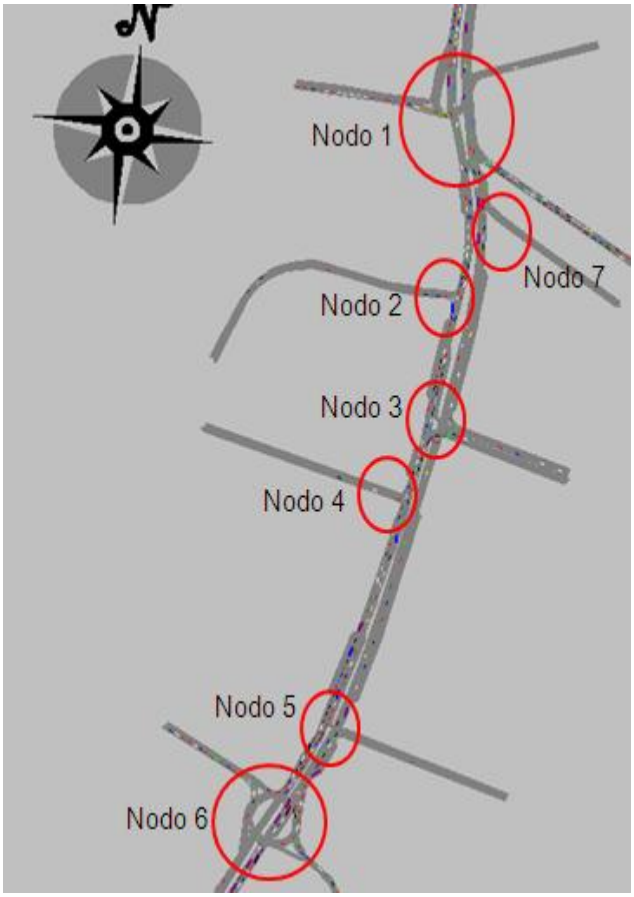
Para la calibración y validación del modelo se hace una comparación de los flujos sobre los arcos de medición, principalmente es relevante revisar los arcos de entradas y salidas del modelo, dado que la información de demanda incorporada en el modelo incluye los flujos medidos en los arcos de entrada. A continuación se presenta una comparación entre los volúmenes contados y modelados. Los volúmenes fueron ingresados al software en períodos cada 15 minutos. La expresión estadística GEH se calcula como sigue:

Ecuación 27. $$GEH = \sqrt{\frac{(E - V)^2}{(E + V)/2}}$$

Donde: GEH : Indicador estadístico

E : Volumen estimado por el modelo. V : Volumen medido en campo.

Figura 28. Red vial evaluada



Fuente: Elaboración propia

Al momento de la calibración los nodos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 corresponden respectivamente a la Avenida el Poblado con calles 5A - 7, 3, 1sur, 1A Sur, 3 Sur, 4 Sur – 5 Sur, y el último corresponde a la salida del centro comercial San Fernando Plaza sobre la carrera 43A (Avenida el Poblado). Ver Figura 28.

Es importante destacar que para el período de la hora de máxima demanda se incluyo dentro de la calibración del modelo una etapa denominada de precalentamiento, la cual consistió en alimentar el modelo con volúmenes vehiculares durante 15 minutos adicionales y previos, a los 60 minutos evaluados en la hora punta. Lo anterior, con el fin de lograr obtener un modelo lo más real posible a las condiciones de movilidad del tramo evaluado en la hora de mayor congestión.

Tabla 32. Calibración de volumen contado y modelado para un Control Responsivo.

Subred vial evaluada: Avenida Poblado (Cr43A) entre Cl 5A-7 y Cl4Sur -5Sur
Período evaluado: hora pico 17:45 - 18:45

ID	Punto de Medición Entradas:	Aforado	Simulación Modelado	Diferencia (Absoluta)	Diferencia (%)	GEH	Observacion
1	**Carrera 43A con Cl 5A (Acceso N)**						
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso N),Mov N-S	1831	1230	-601	-33%	**15,4**	Condición de borde
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso N),Mov N-E	266	159	-107	-40%	**7,3**	
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso N),Mov N-N	89	90	1	1%	0,1	
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso N),Mov N-W	83	55	-28	-34%	3,4	
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso W)						
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso W), Mov W-N, W-NE	503	419	-84	-17%	3,9	
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso W), Mov W-S	96	95	-1	-1%	0,1	
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso E)						
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso E), Mov SE-NE, SE-N	348	362	14	4%	0,7	
	Carrera 43A con Cl 5A (Acceso E), Mov SE-S	444	440	-4	-1%	0,2	
2	**Carrera 43A con Cl 3 (Acceso W), Mov W-S**	181	180	-1	-1%	0,1	
3	**Carrera 43A con Cl 1Sur (Acceso E)**						
	Carrera 43A con Cl 1Sur (Acceso E), Mov E-N	297	293	-4	-1%	0,2	
	Carrera 43A con Cl 1Sur (Acceso E), Mov E-S	408	402	-6	-1%	0,3	
4	**Carrera 43A con Cl 1A Sur(Acceso W), Mov W-S**	80	77	-3	-4%	0,3	
5	**Carrera 43A con Cl 3 Sur(Acceso N).**						
	Carrera 43A con Cl 3Sur (Acceso N), Mov N-N	118	123	5	4%	0,5	
	Carrera 43A con Cl 3Sur (Acceso N), Mov N-E	202	153	-49	-24%	3,7	
6	**Carrera 43A con Cl 5 Sur(Acceso E)**						
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso E), Mov SE-NE	178	133	-45	-25%	3,6	
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso E), Mov SE-NW	250	196	-54	-22%	3,6	
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso E), Mov SE-S	90	90	0	0%	0,0	
	Carrera 43A con Cl 4 Sur(Acceso W)						
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso W), Mov NW-NE	264	240	-24	-9%	1,5	
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso W), Mov NW-SE	89	86	-3	-3%	0,3	
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso W), Mov NW-S	103	115	12	12%	1,1	
	Carrera 43A con Cl 5 Sur(Acceso S)						
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso S), Mov SW-NE	1517	1357	-160	-11%	4,2	
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso S), Mov SW-SE	175	143	-32	-18%	2,5	
	Carrera 43A con Cl 5Sur (Acceso S), Mov SW-NW	33	30	-3	-9%	0,5	
7	**Entrada hacia Av Poblado desde C. Comercial San Fernando Plaza. Mov E-N**	146	145	-1	-1%	0,1	
ID	**Salidas:**						
1	Carrera 43A con Cl 5A (Salida W)	83	55	-28	-34%	3,4	
2	Carrera 43A con Cl 7 (Salida E)	1259	1214	-45	-4%	1,3	
3	Carrera 43A con Cl 7 (Salida S)	2010	1138	-872	-43%	**22,0**	Condición bord
4	Carrera 43A con Cl 3 (Salida W)	223	149	-74	-33%	5	
5	Carrera 43A con Cl 1A Sur (Salida W)	226	204	-22	-10%	1,5	
6	Carrera 43A con Cl 3 Sur (Salida E)	538	445	-93	-17%	4,2	
7	Carrera 43A con Cl 4 Sur- 5Sur(Salida W)	372	184	-188	-51%	**11,3**	Condición de borde
8	Carrera 43A con Cl 4 Sur- 5 Sur(Salida S)	2110	1624	-486	-23%	**11,2**	
9	Carrera 43A con Cl 4Sur- 5 Sur(Salida E)	331	281	-50	-15%	2,9	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Criterio de calibración y validación

Subred vial evaluada: Avenida Poblado (Cr43A) entre Cl 5A - 7 y Cl4Sur - 5Sur
Período evaluado: hora pico 17:45- 18:45

CRITERIO DE MEDIDA:	Total casos analizados	N° veces que GEH < 5	N° veces que GEH > 5	N° de casos que cumple	CRITERIO DE ACEPTACIÓN DE LA CALIBRACIÓN
GEH Static	33	28	5	85%	GEH Static < 5 en el 85% de los casos para volumenes individuales de links.

Fuente: Wisconsin DOT, District 2. Junio de 2002
Criterio de parámetros de aceptación para la calibración y validación de modelos.

Para el caso que nos ocupa, en particular la estrategia de control responsivo se implemento sobre dos cruces semaforizados como son, la Avenida el Poblado (Carrera 43A) con calle 1 Sur (Loma de los Parras), y Avenida el Poblado (Carrera 43A) con calle 3 Sur (Loma de Alejandría). Sin embargo fue necesario ampliar el número de intersecciones a modelar en la medida que el tramo inicial no permitía conclusiones acertadas que se pudieran extrapolar para todo el tramo de análisis. En razón de esto fue necesario incluir los dos extremos del empalme de la vialidad, al norte, conformado por el nodo 1 (carrera 43A con calles 5A - 7), y al sur, constituido por el nodo 6 (carrear 43A con calles 4 Sur – 5 Sur); y de esta manera obtener resultados más realistas. Los dos extremos viales constituyen las condiciones de borde del modelo, las cuales fueron simulados mediante estrategia de tiempo fijo y no mediante estrategia de semiactuación de la demanda vehicular. Por consiguiente el modelo realizado por microsimulación está conformado por una longitud vial de aproximadamente 1 km de vía, para un total de 7 intersecciones, 4 de éstas operadas mediante dispositivos de semáforos, y las restantes 3 intersecciones manejadas como cruces sin semáforos, (regulados con señal de "Pare").

Por todo lo anterior y de acuerdo a las tablas 32 y 33, los resultados cuantitativos de los volúmenes del modelo se ajustan a los datos reales de los volúmenes obtenidos en campo. Debe quedar claro sin embargo, que el modelo no estaría completo sin una condición de borde, que permita definir detalladamente el área objeto de estudio (Nodos 2, 3, 4, 5,7) con las zonas de empalme de la vialidad existente (Nodos 1 y 6), tal como se describió anteriormente.

Con base en lo anterior, el modelo construido mediante estrategia de control semiactuada cumple con los estándares internacionales de calibración y validación de modelos. Según la firma consultora Steer Davies[5], el criterio de calibración y

[5] Steer Davies. Curso Básico Vissim . Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Año 2010.

validación de los estándares locales usados en las ciudades de Colombia, establece GEH < 10, en el 85% de los casos para volúmenes individuales de links. Con lo cual el modelo, cumple aún más con su calibración y validación.

c) Comparación de velocidades

Se presentan puntos de contraste entre velocidades medidas en campo con base en el tiempo, y con base en la distancia, y el valor arrojado por el modelo de control responsivo, realizado mediante la plataforma de simulación Vissim con lógica VAP. El comparativo nos deja ver valores aproximados del comportamiento de la velocidad, y deben ser mirados como puntos de cotejo.

c-1) Velocidad media con base en el tiempo, o velocidad media de punto.

Cuando se carga la información en el software Vissim, la composición vehicular de todo el sistema, (autos, buses, camiones, bicicletas, y motos) es alimentada con unas velocidades base (velocidad deseada, similar a la de diseño). El software Vissim, trae una gama de opciones para elegir, de acuerdo al caso de vía a estudiar y su jerarquía. Específicamente y de acuerdo a las características de la vía analizada, se eligieron los parámetros ilustrados en la tabla 34.

Tabla 34. Parámetros de velocidad preestablecidos software VISSIM

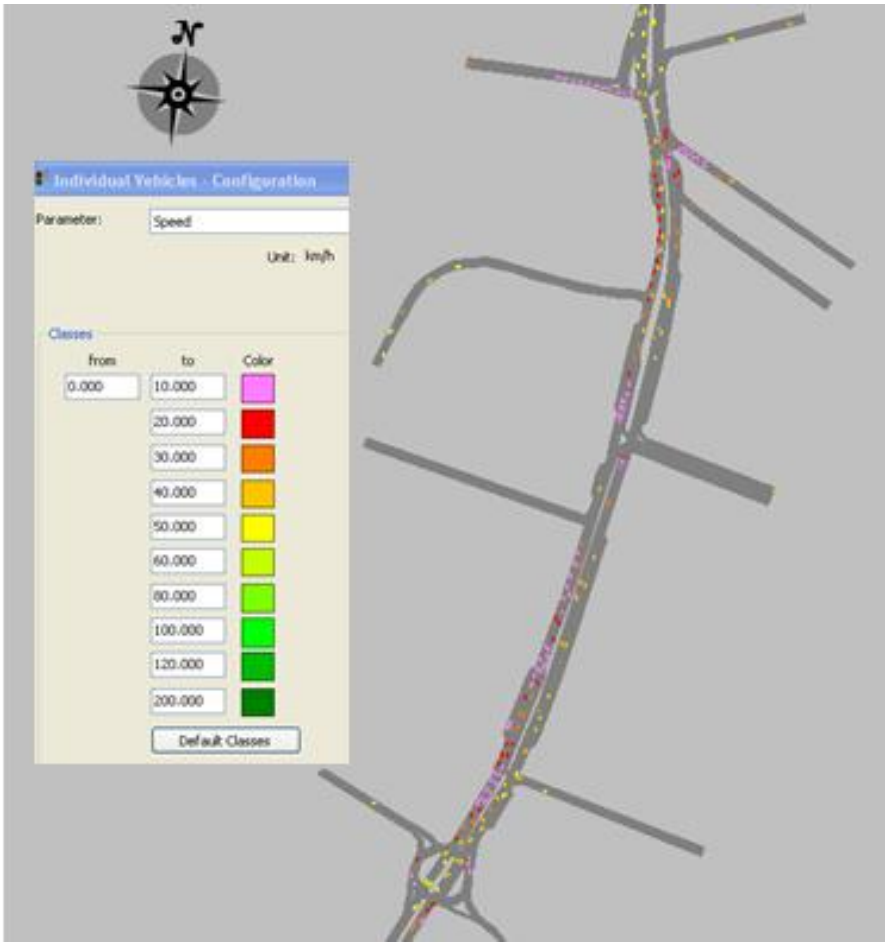
Tipo de vehículo	Velocidad deseada (km / h).	Rango fluctuación velocidad deseada. (km/h).
Liviano	40	40-45
Bus	30	30 -35
Camión	30	30 -35
Moto	70	68 -78
Bicicleta	20	20 -25

Fuente: Elaboración propia

Por ser Vissim un modelo estocástico, su propio algoritmo permite a los diferentes conductores de acuerdo al tipo de vehículo y en función del comportamiento del conductor (agresivo o cauto), apropiarse de una velocidad deseada, siempre dentro del rango de fluctuación relacionado a cada tipología vehicular. Es decir, que el conductor puede elegir una velocidad deseada respetando un rango preestablecido por el software Vissim. El software, también permite durante una corrida de la simulación, la opción de evaluar para un intervalo de tiempo dado Δt, las velocidades, y aceleraciones de los vehículos, donde gráficamente las

categoriza con una gama de colores evaluados durante un período Δt de la simulación. La figura 29, nos relaciona esta situación.

Figura 29. Evaluación gráfica de la velocidad en Δt.



Fuente: Elaboración propia

Dado que la calidad del viaje se puede asociar frecuentemente a la velocidad. Si se elabora un punto de contraste entre las velocidades predispuestas por el software, y la velocidad media con base en el tiempo, o velocidad media de punto, que no es más que el valor central de un grupo de velocidades vehiculares instantáneas medidas en un lugar específico de la vialidad evaluada y estadísticamente analizadas, se obtiene, como es de esperarse que las velocidades registradas en las muestras de campo son inferiores a las establecidas por el software; con lo cual se pueden establecer tendencias de las velocidades para los diferentes tipos y características de los vehículos, sobre los lugares seleccionados para la toma de información; los cuales estarían sometidos a una

serie de restricciones dadas por la densidad de vehículos en el momento del registro de la información, la forma de conducir de las personas, los diferentes obstáculos en la vía, y los peatones circulantes, etc.

Por tanto, y bajo las condiciones de tránsito prevalecientes a la hora de llevarse a cabo el estudio (17:45 -18:.45), de la tabla 35 se infiere, que en el sentido de circulación N-S se presentan velocidades medias inferiores a las indicadas en sentido S-N, naturalmente este fenómeno es de típica ocurrencia de lunes a viernes en la hora de máxima demanda correspondiente a la franja horaria de 17:45 – 18:45 sobre la vía evaluada, al constituir el regreso de los viajeros a casa.

Tabla 35. Contraste de velocidades: del modelo vs obtenidas en campo

Tipo vehículo	Modelo Vissim		Resumen estadístico de velocidades				
	Vel. desead (km / h).	Rango vel. deseada (km/h).	Media (km/h)	Mediana (km/h)	Desviación estándar (km/h)	Mínimo (km/h)	Máximo (km/h)
Sentido N - S							
Autos	40	40-45	17,88	16,66	4,56	11,12	34,40
Buses	30	30 -35	15,43	16,28	4,06	8,27	23,23
Camion	30	30 -35	15,58	16,44	4,03	9,43	21,34
Motos	70	68 -78	21,80	22,74	4,89	12,90	30,77
Biciclet	20	20 -25	18,66	19,35	4,77	10,8	26,41
Sentido S - N							
Autos	40	40-45	33,30	33,23	8,30	15,72	55,10
Buses	30	30 -35	28,15	28,34	6,52	15,79	45,0
Camion	30	30 -35	31,0	34,2	7,33	18,4	41,7
Motos	70	68 -78	35,33	33,96	7,68	21,64	49,09
Biciclet	20	20 -25	22,74	21,36	3,26	19,12	28,05

Fuente: Elaboración propia, cumpliendo con el tamaño mínimo estadístico que exige la muestra, para cada tipo de vehículo. Año 2010.

c-2) Velocidad media con base en la distancia, o velocidad media de recorrido.

La velocidad media de recorrido, o velocidad media con base en la distancia, fue determinada en la hora de mayor congestión correspondiente a la franja horaria de las 17:45 – 18:45, por medio de los estudios de tiempos de recorrido y demoras (método del vehículo flotante), como se describió en el numeral 4.2.1 (Estudios Experimentales).

Tabla 36. Comparativo velocidad del modelo vs velocidad método del vehículo flotante

Velocidad (Km/h)			
Velocidad Modelo	Velocidad campo (Método vehículo flotante)	Diferencia	Diferencia %
12,0	12,75	0,75	5,8%

Fuente: Elaboración propia. Mediciones de campo. Hora pico. Año 2010.

El resultado de velocidad del modelo calibrado de la situación actual, es decir, modelo con estrategia de control responsivo sobre la subred evaluada de la Avenida el Poblado entre calles 5A- 7(Clínica Medellín) y 4Sur -5Sur (Loma de los González), corresponde a un valor de 12,0 km/h. Ver Tabla 41.

Lo que significa que al contrastar la velocidad registrada experimentalmente en campo, frente a la velocidad del modelo base, se encuentra una buena aceptación de tal parámetro. Además también cumple el criterio de ser visualmente aceptable en campo. Ver tabla 36.

d) Manejo de las intersecciones a prioridad

Como es bien sabido conceptualmente para que un vehículo pueda cruzar una corriente vehicular, necesita que ocurra un claro mínimo de 2,5 a 3 segundos en ella, si el vehículo se encuentra en movimiento, y de 5 a 6 segundos, si está detenido.

- Cuando un vehículo necesita atravesar una vía de gran volumen de tránsito, es muy poca la probabilidad de que simultáneamente en todas las filas de vehículos, ocurran claros superiores a los indicados.

- En VISSIM se le dió la instrucción al software, para que en la hora de máxima demanda, el vehículo ingrese a la corriente vehicular, no en términos de brecha, sino de espaciamiento, que es el caso más fiel a la realidad en la hora de congestión, y de esta manera calibrar con mayor rigurosidad el modelo, respecto a la realidad de la vialidad local analizada.

e) Comparación por largos de cola

Se muestra un comparativo de la longitud de cola máxima medida en terreno, versus la máxima longitud de cola arrojada por el modelo. Consecuentemente dichas mediciones se realizaron en campo en los ingresos de las respectivas