

**PROGRAMACIÓN SEMAFORAL PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO
PEATONAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA Av. CARACAS CON CI 13 EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

**DIANA CAROLINA RAMIREZ PRADO
JORGE ARMANDO RIVERA ORTEGA**



**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

**PROGRAMACIÓN SEMAFORAL PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO
PEATONAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA Av. CARACAS CON CI 13 EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

DIANA CAROLINA RAMIREZ PRADO

JORGE ARMANDO RIVERA ORTEGA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al
Título de Ingeniero Civil**

Asesor Disciplinar: Ing. Nancy Cifuentes

Asesor Metodológico: Licenciado Roy W. Morales Pérez

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2015**

Contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. ANTECEDENTES.....	14
5. MARCOS REFERENCIALES	17
5.1 MARCO CONCEPTUAL.....	17
5.1.1 Seguridad Vial.....	17
5.1.2 Accidentalidad.....	18
5.1.3 Intersecciones semaforizadas.....	19
5.1.4 Semaforización	21
5.1.5 Programación semaforal	23
5.1.6 Niveles de Servicio.....	25
5.1.7 Determinación del Nivel de Servicio por cruce.....	29
5.2 MARCO GEOGRÁFICO	32
5.3 MARCO LEGAL.....	34
6. DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
6.1 ENFOQUE	35
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	35
6.3 INSTRUMENTOS PARA LA TOMA DE DATOS.....	36
6.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
6.4.1 Fase I: Estudio de antecedentes primarios y secundarios:.....	36
6.4.2 Fase II: Análisis de la Información.....	37
6.4.3 Fase III: Modelación.....	37
7. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	39
7.1 VOLÚMENES PEATONALES DE LA INTERSECCIÓN.....	40
7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA INTERSECCIÓN.....	40

7.3 PROGRAMACIONES SEMAFORALES DE LA INTERSECCIÓN.....	42
7.3.1 Análisis de la Programación semaforal del punto crítico en horas pico	45
7.4 CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO ACTUAL DEL CRUCE.....	49
7.4.1 Nivel de servicio por espacio por peatón en la zona de espera para los 4 cruces:	50
7.4.2. Nivel de servicio según la demora peatonal	59
7.4.3. Nivel de servicio basado en velocidades de caminata.....	60
7.5 MODELACIÓN	61
7.5.1 AFOROS PEATONALES	61
7.5.2 PROGRAMACIÓN SEMAFORAL.....	62
7.5.3 NIVEL DE SERVICIO FINAL.....	64
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
9. BIBLIOGRAFÍA	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterio de nivel de servicio para el flujo continuo	27
Tabla 2. Criterios de nivel de servicio para flujo discontinuo	27
Tabla 3. Características geométricas de la intersección	41
Tabla 4. Verificación de medidas del cruce con manual de vías rurales.....	41
Tabla 5. Duración de los ciclos semaforales según plan de la intersección	44
Tabla 6. Duración de fases semaforales peatonales según la hora pico y plan semaforal	44
Tabla 7. Volumen peatonal y hora pico por cruce	49
Tabla 8. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal en el cruce sur.....	51
Tabla 9. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal cruce norte	53
Tabla 10. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal cruce oriental.....	55
Tabla 11. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal cruce occidental	57
Tabla 12. Nivel de servicio peatonal en cada cruce	59
Tabla 13. Nivel de servicio por demora peatonal	59
Tabla 14. Nivel de servicio peatonal basado en velocidades de caminata en el punto crítico	60
Tabla 15. Cambios de fases peatonales punto crítico	63
Tabla 16. Nivel de servicio final	64

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Congestión presentada en el punto crítico	9
Imagen 2. Giro prohibido hacia el sur en la intersección de la Calle 13 con Av. Caracas	10
Imagen 3. Tipos de giro	21
Imagen 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	32
Imagen 5. Identificación gráfica de los cruces	39
Imagen 6. Volúmenes peatonales por cruce.....	40
Imagen 7. Giros permitidos en la intersección	42
Imagen 8. Localización y nomenclatura de los semáforos de la intersección.....	43
Imagen 9. Fases semaforales de la intersección en hora pico	45
Imagen 10. Comportamiento de la intersección cuando los semáforos peatonales del punto crítico están en fase roja	46

Imagen 11. Comportamiento de la intersección cuando los semáforos peatonales del punto crítico están en fase verde.	47
Imagen 12. Comportamiento de la intersección cuando hay tiempo muerto para cruce peatonal en el punto crítico.	48
Imagen 13. Programación semaforal del punto crítico.....	49
Imagen 14. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso sur	52
Imagen 15. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso norte	54
Imagen 16. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso oriente.....	56
Imagen 17. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso occidente	58
Imagen 18. Composición peatonal del cruce	61
Imagen 19. Programación semaforal final punto crítico	63
Imagen 20. Programación final	65

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relaciones máximas	24
Ecuación 2. Ciclo óptimo	24
Ecuación 3. Tiempo medio recorrido	28
Ecuación 4. Densidad peatonal	29
Ecuación 5. Peat. por segundo en el cruce	29
Ecuación 6. Peat. fase roja + amarilla	30
Ecuación 7. Espacio por peatón	30
Ecuación 8. Densidad peatonal	30
Ecuación 9. Capacidad peatonal andén	31
Ecuación 10. Capacidad peatonal cebra	31

**PROGRAMACIÓN SEMAFORAL PARA MEJORAR EL NIVEL DE SERVICIO
PEATONAL EN LA INTERSECCIÓN DE LA Av. CARACAS CON CI 13 EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En todo proceso de planeación de tránsito y transporte la seguridad vial conforma la parte más importante ya que está encaminada a resguardar las vidas humanas, con la implementación de medios de transporte más eficaces en la ciudad de Bogotá D.C. (como los BRT(*)) y la falta de estudios de impacto sobre la población aledañas a las zonas de implementación de dichos sistemas como el TransMilenio, se hace necesario revisar uno a uno los factores que se deben tener en cuenta para tener una planeación correcta y en la cual se incluya y se den beneficios a todos los sectores afectados por esta.

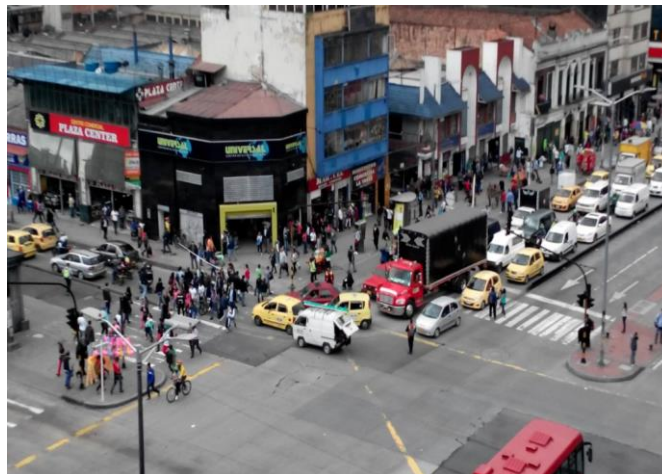
Dentro de los factores que incluye la planeación de tránsito y transporte y más en las zonas donde se ha implementado sistemas de transporte BRT, se tienen las intersecciones semaforizadas. Su programación se realiza en el país bajo normas internacionales que en su parte metodológica solo tienen en cuenta los volúmenes vehiculares, tiempos de viaje y costos operacionales dejando a un lado al peatón que las usa a diario, por ello se da predilección a las fases semafóricas para flujo vehicular, lo que hace necesario hablar de temas de accidentalidad que pueden ser generados por el comportamiento humano y su relación con las vías y sistemas de transporte. Aunque los sistemas de transporte BRT han disminuido la tasa de accidentalidad sobre los corredores que utilizan, también es cierto que han aumentado el tiempo de espera de los peatones en las intersecciones semaforizadas dificultando el uso de los cruces por personas con discapacidad, con niños de brazos o personas de la tercera edad a las que se le puede dificultar movilizarse.

**Autobús de tránsito rápido (BRT), servicio de transporte público que combina carriles de autobuses con estaciones.*

La infraestructura, el estado de las vías, duración de las fases semaforales para el flujo vehicular, volúmenes peatonales por tipo de población que las usa (tercera edad, jóvenes, niños, entre otros), son los aspectos a tener en cuenta para poder llegar a un diagnóstico del nivel de servicio peatonal de las intersecciones semaforizadas, en nuestro caso, la intersección de la Av. Caracas con Cl 13 de la ciudad de Bogotá D.C.

En el momento del análisis del cruce, se evidencia gran congestión en el andén que conduce sobre la Calle 13 costado sur (Imagen 1) el cual se confirma con los aforos peatonales solicitados a la Secretaría de Movilidad de la ciudad de Bogotá D.C. Dichos aforos muestran un volumen de más 5.000 peatones (anexo 1) realizando el cruce en horas pico lo cual convierte este punto en un punto crítico.

Imagen 1. Congestión presentada en el punto crítico



Fuente propia

Adicionalmente, este cruce presenta una señal de tránsito que prohíbe el cruce vehicular hacia el sur (imagen 2) y se evidencia que un alto porcentaje del flujo vehicular infringe dicha señal ocasionando gran congestión y peligro al peatón de ser atropellado debido a que la luz en verde del semáforo (peatonal y vehicular costado occidente oriente) coinciden. Por lo anterior, y sumándole a ello el

comportamiento imprudente del peatón se presentan varios accidentes que en su mayoría no son reportados poniendo en juego el bienestar de las personas.

Imagen 2. Giro prohibido hacia el sur en la intersección de la Calle 13 con Av. Caracas



Fuente propia

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior, se formula el siguiente interrogante investigativo:

¿Cuál será la programación semaforal que mejore el nivel de servicio peatonal en la intersección semaforizada de la Av. Caracas con calle 13 en la ciudad de Bogotá?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Modelar la programación semaforal que mejore el nivel de servicio peatonal en la intersección semaforizada de la Av. Caracas con Cl 13 en la ciudad de Bogotá.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

2.2.1 Determinar el nivel de servicio peatonal actual de la intersección semaforizada de la Av. Caracas con Calle 13 en la ciudad de Bogotá.

2.2.2 Analizar la información obtenida y los niveles de servicio para realizar la programación de las fases semaforales de la intersección.

2.2.3 Calcular el nivel de servicio peatonal a partir de la programación propuesta.

3. JUSTIFICACIÓN

Los niveles de servicio de las intersecciones peatonales están dados por tipos de flujo (continuo y discontinuo), para los cuales se tienen diferentes criterios de medida. En este proyecto por ser una intersección semaforizada se hablará de flujo discontinuo, por lo cual el nivel de servicio además de definirse por criterios como volumen, densidad y velocidad promedio del usuario, debe considerar principalmente analizar los tiempos de espera de los usuarios al momento de realizar el cruce de la intersección, al considerar que la programación semaforal de la ciudad de Bogotá D.C. está basada en las normas internacionales, las cuales basan su esquema dándole prioridad a los flujos vehiculares, tiempos de viaje de vehículos y costos operacionales. Surge así la necesidad de evaluar si el nivel de servicio con el que cuentan los peatones es apto, de modo que garantice su seguridad al momento de cruzar la calle y que disminuya los tiempos de viaje de estos.

Debido al alto volumen de peatones y vehículos que se presentan en el cruce semaforal de la avenida Caracas con calle 13 se crea la necesidad de evaluar y analizar si los tiempos semaforales que allí funcionan son los óptimos debido a que se observa con frecuencia que es un punto con elevados índices de accidentalidad que en su mayoría no son reportados. Este sector, ubicado en el corazón del centro de la ciudad, presenta elevados niveles de volumen peatonal y debido a esto se presenta gran dificultad de las personas al cruzar puesto que cuenta con cruces de articulados de Transmilenio y cruces vehiculares en todos los sentidos (norte - sur, sur – norte, este – oeste y oeste – este). Adicionalmente, de manera reiterativa, se observa la imprudencia de los vehículos particulares que no respetan las señales de tránsito realizando cruces prohibidos y poniendo en riesgo el bienestar de los peatones.

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto surge de la necesidad de evaluar si el peatón realmente cuenta con el tiempo suficiente para cruzar la calle y avenida sin poner en riesgo su vida porque es frecuente observar a personas adultas, mujeres en estado de embarazo, niños y adolescentes que tienen gran dificultad para cruzar de manera “segura” y sin ser atropellados por los afares que este sector caótico de la ciudad presenta debido a factores externos, analizando todos los factores que influyen en una intersección semafórica como la geometría, tipo de usuarios y programación semaforal.

4. ANTECEDENTES

El trabajo de investigación desarrollado por Doig Godier, Jean Christian¹ realiza un Análisis del nivel de servicio peatonal en la ciudad de Lima; el objeto de estudio de dicho trabajo consiste en analizar los principales factores que intervienen en la percepción del nivel de servicio peatonal en la ciudad de Lima, concluyendo como criterios principales de la evaluación, la disponibilidad y acceso, la capacidad del espacio peatonal, la seguridad vial y el espacio público y estos tienen cada uno requerimientos específicos dependiendo de la actividad peatonal que se desarrolla en la infraestructura y en el espacio público.

Dentro de las metodologías para la evaluación del nivel y calidad del servicio contempla las siguientes: Nivel de servicio peatonal según el HMC ((manual de capacidad de carreteras), evaluación de cruces peatonales según el reporte 562 de la NCHRP (National Cooperative Highway Research Program), para intersecciones no semaforizadas 2006, auditorias de seguridad vial ya permite evaluar los diseños desde la perspectiva de la seguridad porque su finalidad no es calificar las condiciones de seguridad sino identificar las situaciones de riesgo y el comportamiento del diseño ante diversas situaciones, análisis de ocurrencia de accidentes. Es un procedimiento sencillo que permite identificar las condiciones negativas de servicio en base a la ocurrencia de accidentes. Este procedimiento también es conocido como identificación de puntos negros. Es ampliamente utilizado en el ámbito local.

Dentro de las conclusiones del trabajo se encuentra lo siguiente: los peatones se toman la libertad de elegir el camino más corto lo que suele ponerlos en conflicto con los modos vehiculares. Esto en parte debido a que los elementos de control de tráfico no contemplan la actividad peatonal, se habla también, de las principales problemáticas que afectan al peatón en los casos de estudio

¹ DOIG GODIER, Jean Chirstian. Análisis del nivel de servicio peatonal en la ciudad de Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú, Tesis de grado, Facultad de ciencias e ingeniería, Lima, Agosto de 2010

correspondientes al aspecto de la seguridad vial, situación que se explica debido a la poca consideración que se le presta a la actividad peatonal en el diseño de la infraestructura vial que genera situaciones de alto riesgo para los peatones. En cuanto a los criterios de flujo y circulación para el análisis de vías urbanas con interacción entre vehículos y peatones, se encontró que los indicadores de nivel de servicio basados en demora peatonal (tiempo) son más relevantes que aquellos basados en espacio disponible. En los casos estudiados, se encontró que el modo peatonal está altamente relacionado con el modo de transporte público, puesto que los paraderos constituyen los principales orígenes o destinos para los recorridos peatonales.

De la breve descripción de este proyecto se utilizará la metodología nivel de servicio peatonal según el HMC ((Manual de Capacidad de Carreteras), porque contempla un análisis puntual e incluye la evaluación de espacio, capacidad, volúmenes, en un análisis micro (de un punto específico).

En el año 2008 García Botero, Tomás² presenta su trabajo Revisión y Re-diseño de la planeación semafórica de las intersecciones viales de la ciudad de Manizales, a partir de información básica existente por como requisito para optar el título de Especialista en Vías y Transporte. Esta monografía abarca temas importantes para la presente investigación debido a que se basa en estudios de movilidad ya realizados en dicha ciudad en donde se identifica una baja eficiencia en la planeación semafórica y pretende buscar estrategias para mejorar la movilidad de la población mediante soluciones operativas de bajo costo y con criterios de eficiencia y efectividad. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten mejorar las condiciones de movilidad tanto de vehículos como peatones de la ciudad de Manizales creando alternativas de solución de los problemas presentados en sectores neurálgicos de la ciudad.

² BOTERO GARCÍA, Tomás. Revisión y re-diseño de la planeación semafórica de las intersecciones viales de la ciudad de Manizales, a partir de la información básica existente, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Tesis de grado, Facultad de Ingeniería y Arquitectura , Manizales 2008

Cuevas Eslava, Diego Hernando redactó un artículo de gran importancia, **Verificación de criterios de semaforización desde el punto de vista peatonal**, el cual resulta interesante para el desarrollo del presente trabajo puesto que indica desde el inicio que los estudios y planes de semaforización implementados en la ciudad de Bogotá D.C. nunca tienen en cuenta al peatón y ello se ve reflejado en las tasas de accidentalidad y la pérdida de desplazamientos de los mismos por lo que el peatón siempre estará en desventaja con los vehículos. Esta investigación arroja la conclusión de implementar la modificación de las fases verdes peatonales sin cambiar de categoría el nivel vehicular teniendo en cuenta siempre los costos (económicos) que estos cambios representarían, así como el tratamiento a los peatones se basa en el aprovechamiento de los tiempos rojos vehiculares de los ciclos ajustando únicamente los tiempos de seguridad para cruzar la vía.

Los volúmenes peatonales no se consideran para la definición de las fases, sólo se tienen en cuenta para la determinación de los anchos de las cebras y de los separadores centrales en caso que el paso peatonal se realice en dos ciclos. Por lo anterior, el tiempo de demora peatonal no forma parte de la optimización de los ciclos semafóricos.

De este artículo de investigación se destaca la manera sobre cómo el autor describe el proceso para llevar a cabo la verificación de los procedimientos y bases que da la norma alemana Rilsa para la realización de las fases semaforales para ver cuál es la base teórica de dejar a un lado al peatón.³

³ CUEVAS ESLAVA, Diego Hernando. Verificación de criterios de semaforización desde el punto de vista peatonal, Universidad de los Andes, Bogotá.

5. MARCOS REFERENCIALES

Dentro de un proceso de planeación del transporte, el estudio de los medios no motorizados (peatones y ciclo rutas), se convierte primordial puesto que estos, al no producir ninguna rentabilidad a empresas públicas o privadas, hasta el momento se han dejado a un lado dándole preferencia a los medios motorizados, este trabajo contempla el estudio necesario para mejorar la prestación del servicio peatonal desde el punto de vista del nivel de servicio de una intersección semaforizada en la cual se tienen con diferentes tipos de transporte (BRT y particular), además de ser un punto crítico por los altos volúmenes peatonales porque el uso del suelo de la zona es en su mayoría comercial.

Dentro de los aspectos a evaluar se tiene como ejes, la accidentalidad, la geometría del cruce con capacidades de la infraestructura peatonal (andenes, separadores), los ciclos de semaforización, percepción del servicio de los usuarios, aspectos que llevarán inicialmente a definir el nivel de servicio actual basados no solamente en la demora que percibe cada usuario (flujo discontinuo), sino también desde la parte del confort y la seguridad que experimentan las personas al usar el cruce.

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Seguridad Vial

La seguridad vial es la prevención de accidentes de tránsito y la minimización de sus efectos cuyo objetivo primordial es velar por la vida y la salud de las personas cuando de accidentes de tránsito se habla.

Las autoridades competentes, constantemente deben estar informando y desarrollando campañas educativas en las que deben promoverse aspectos relacionados con la seguridad vial tales como: Precaución en la conducción de

automotores, respeto por las autoridades policiales, protección a peatones y personas discapacitadas, prevención de accidentes, entre otros.

La seguridad vial tiene como fin velar por la seguridad de los peatones en primera instancia y de allí que surja la necesidad de formular la pregunta sobre las garantías que éstos tienen cuando hacen uso de la vía pública.

5.1.2 Accidentalidad

La accidentalidad aparece como producto del avance motorizado que han venido adquiriendo las ciudades en los últimos años y según el fondo de prevención vial, “Los peatones representan en Colombia 3 de cada 10 víctimas de accidentes de tránsito. Son los usuarios más vulnerables de las vías”⁴

La accidentalidad, fácilmente podría convertirse en un desastre social debido a que las pérdidas, cada vez que ocurre algún evento, son incalculables puesto que no solo es la pérdida de dinero sino también la pérdida de vidas lo cual lleva a afectar el entorno familiar y social.

Los accidentes de tránsito se presentan de manera continua y son impredecibles, las principales causas de los accidentes viales son:

- Factores humanos: Estos factores se atribuyen a errores tales como el manejo inadecuado del vehículo, imprudencias por parte de los peatones, manejo inadecuado de las velocidades de los automotores.
- Factores vehiculares: Estos factores se atribuyen a fallas mecánicas del automotor tales como fallas en los frenos y luces.
- Factores ambientales: Se le atribuyen a este aspecto factores como la lluvia, aunque dentro de esta causal de accidente prima la imprudencia del

⁴ Fondo de prevención vial. (Citado el 20 de octubre de 2012) Disponible en: <https://www.fpv.org.co/proteccion/peatones/7>

conductor y peatón por no prestar atención a las condiciones climáticas y el estado de las vías.

- Factores de la vía: Dentro de esta causa se consideran aspectos como anchos de la vía y andenes, un pavimento y asfalto óptimo para los peatones, ciclistas y vehículos y una buena señalización.

De acuerdo con el Manual de Planeación y Diseño para la administración del Tránsito y el Transporte, “Las tasas de letalidad son mayores para los atropellamientos, seguidos por los choques entre un vehículo y una bicicleta. (...) Los atropellos son más frecuentes a niños, ancianos, ebrios y en zonas urbanas. En los menores predominan en niños de 5 a 9 años, horas diurnas, congestión vehicular, cerca de la residencia del menor, al lado de los andenes, estrato socioeconómico bajo, alta densidad poblacional, maniobra de reversa o niños corriendo en la vía”.⁵

5.1.3 Intersecciones semaforizadas

Las intersecciones son la confluencia de varias vías, por la que el tráfico se mueve en diferentes direcciones. Las intersecciones de mayor flujo están reguladas normalmente por semáforos. Las intersecciones semaforizadas son de las situaciones más complejas en la movilidad de cualquier ciudad. En el análisis del mismo, debe considerar entre otras variables, la cantidad y la distribución del tráfico, la composición del mismo, las características geométricas de la vía y los detalles de la semaforización.

La semaforización de intersecciones puede ser un instrumento eficaz para la reducción de la congestión, la mejora de la seguridad y para elevar los niveles de servicios peatonales.

⁵ ALACALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte. Bogotá Septiembre de 2005. 4-11 p

En la intersección regulada por semáforos, uno de los factores a considerar es la capacidad la cual se define como el número máximo de vehículos que cruzan la intersección en un periodo determinado de tiempo.

Objetivos de un Intersección:

- Reducir y prevenir cierto tipo de accidentes en la intersección y en las intersecciones aledañas
- Reducir las demoras que experimentan los peatones y vehículos al intentar cruzar la intersección, y al mismo tiempo evitar los obstáculos de las intersecciones más cercanas causado por largas colas
- Reducir el consumo de combustible de los vehículos en la intersección.
- Reducir la emisión de contaminantes del aire de automotores y otros factores que empeoran el medio ambiente.⁶

Tipos de Movimiento:

En una intersección regulada por semáforos la asignación del tiempo verde no es lo único que influye de manera significativa en su capacidad; también debe tenerse en cuenta la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases. Los tipos de giro son:

- De paso: el vehículo continúa en la dirección que llevaba antes de atravesar la intersección. De todos los movimientos, es el de menor requerimiento por parte del sistema.
- Giro Permitido: el vehículo que lo efectúa debe atravesar bien una corriente peatonal o un flujo vehicular en sentido opuesto.
- Giro Protegido: en este tipo de movimientos, el vehículo no presenta oposición vehicular o peatonal a la hora de realizar la maniobra. Sería el

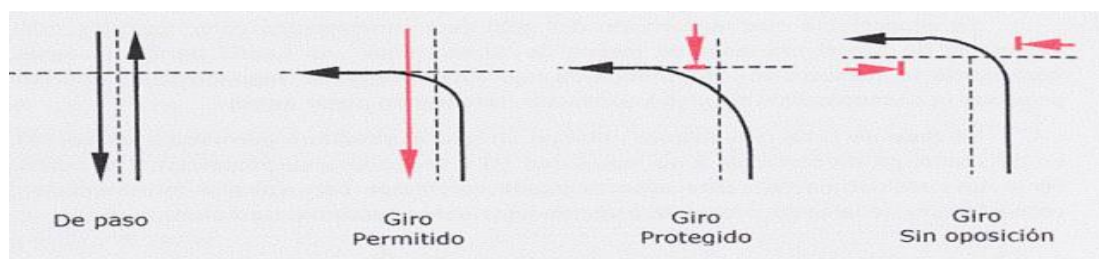
⁶ BOTERO GARCÍA, Tomás. Revisión y re-diseño de la planeación semaforica de las intersecciones viales de la ciudad de Manizales, a partir de la información básica existente, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura , Manizales 2008

caso de giros a la izquierda realizados en una fase exclusiva para los vehículos.

- Giro sin Oposición: en esta clase de movimientos no se requiere de una regulación de fase exclusiva, porque la configuración de la intersección hace imposible que se den conflictos o interferencias con el tráfico de paso. Se dan sobre todo en calles de sentido único o intersecciones en T que operen con dos fases separadas para cada dirección.⁷

En la imagen 3 se observa los tipos de giro existentes en las intersecciones.

Imagen 3. Tipos de giro



Fuente Tráfico en vías urbanas. Luis Bañón Blázquez

5.1.4 Semaforización

5.1.4.1 Semaforización vehicular

La semaforización en las ciudades contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos debido a que ésta debe proporcionar un funcionamiento óptimo para garantizar la mayor fluidez posible tanto en el tránsito de automotores como en la movilidad de los peatones.

Dentro de los elementos esenciales para el funcionamiento adecuado de la red semaforal encontramos el semáforo cuya función principal es el control de una intersección y dar paso controlado a vehículos, peatones, bicicletas y demás

⁷ BAÑÓN BLAZQUEZ, Luis. Tráfico en vías urbanas. Disponible en: http://sirio.ua.es/proyectos/manual_%20carreteras/01020301.pdf

usuarios de la red vial garantizando el cruce en las intersecciones de manera segura y óptima. Dentro de los objetivos principales de la semaforización en una intersección encontramos:

Reducir y prevenir accidentes en las intersecciones semaforales donde se presenta flujo discontinuo.

Facilitar el cruce para peatones y vehículos en las intersecciones

5.1.4.2 Clasificación de los semáforos según su uso

Según el uso de los semáforos se clasifican así:

Semáforos para el control de vehículos.

Semáforos para pasos peatonales.

Semáforos especiales.

5.1.4.3 Clasificación de los semáforos según su tecnología

Existen varios tipos de semáforos que ayudan a facilitar el cruce de acuerdo a la complejidad de la vía, entre ellos encontramos:

Semáforos de tiempo fijo: El ciclo, la duración y la secuencia son preestablecidos por una programación, que varía en el transcurso del día dependiendo de la demanda.

Semáforos totalmente accionados por el tránsito: El ciclo, la duración y la secuencia de los intervalos están controlados por el tránsito real de la intersección.

Semáforos semi-accionados por el tránsito: Se basa en la programación de la fase verde sobre la vía principal continua, hasta que se detecte flujo en las vías secundarias y así darles paso con un intervalo adecuado.

Semáforos controlados por computador: Además de enviar indicaciones de fase a los controladores, genera fases especiales.

5.1.4.4 Semaforización peatonal

“Los semáforos para peatones son señales de tránsito instaladas con el propósito exclusivo de dirigir el tránsito de peatones en intersecciones controladas por semáforo y las cuales se clasifican de la siguiente manera: zonas de alto volumen peatonal y en zonas escolares”⁸

Estos se componen de 2 luces, una de color verde y una de color roja que van sincronizadas con la semaforización vehicular, estos pueden ser de forma actuada, en los cuales por medio de la pulsación de un botón que se encuentra en el semáforo permite efectuar el cambio de fase para permitir el cruce peatonal.

5.1.5 Programación semaforal

Partiendo del concepto de ciclo semaforal de Cal y Mayor en su libro de Ingeniería de Tránsito se tiene que es el “tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa. En otras palabras es el tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo”⁹

La distribución de los tiempos de viaje de cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes, en otras palabras depende de la demanda vehicular del cruce.

Para el cálculo del ciclo óptimo a mano de las fases semaforales en una intersección semaforizada se siguen los siguientes pasos:

Cálculo del volumen vehicular: éste se realiza por medio de aforos vehiculares, con datos mínimo de 2 horas en un punto con intervalos de 15 minutos.

⁸ ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA D.C, Secretaría de Tránsito y Transporte. Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte tomo I. Bogotá: alcaldía mayor de Bogotá D.C secretaria de tránsito y transporte, 2005. 50 p.

⁹ CAL Y MAYOR, Rafael y CARDENAS GRISALES, James. Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones. Séptima edición. México D.F: editorial AlfaOmega, 1994. 396 p.

Cálculo del flujo de saturación del cruce basado en base a los aforos realizados en el punto.

Cálculo de las relaciones máximas (yi): ésta relación se basan en los volúmenes vehiculares y en los flujos de saturación por medio de la siguiente ecuación:

$$Y_i = \frac{Q_i}{S_i}$$

Ecuación 1. Relaciones máximas

Donde:

Yi= Relaciones máximas entre variables.

Qi = Volumen vehicular actual en automóviles directos equivalentes por cada carril.

Si= Flujo de saturación en automóviles directos equivalentes por cada carril.

Cálculo del ciclo óptimo (Co): éste cálculo se basa en las relaciones anteriormente calculadas y su resultado es el tiempo necesario para que los vehículos que estén en cola puedan realizar el cruce dentro de la fase verde, este se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_0 = \frac{1.5 \times L + 5}{1 - Y}$$

Ecuación 2. Ciclo óptimo

Donde:

Co= Ciclo óptimo para la fase semaforal.

L = Tiempo de perdida por ciclo semaforal, para Colombia el promedio es de 5 sg, este se multiplica por el número de fases.

Y= Se calcula como la sumatoria de los Y_i .

5.1.6 Niveles de Servicio

Bogotá D.C., ciudad capital, es una ciudad densa y compacta, en esta ciudad se observa que la mayoría de sus zonas urbanas y residenciales se encuentran sobre terrenos planos, además de ser una ciudad llena de parques, centros comerciales y centros culturales, lo cual hace que para la mayoría de habitantes desplazarse caminando de un lado a otro represente una actividad de gran atractivo.

Con frecuencia, se olvida que el peatón constituye una parte fundamental en la movilidad de todas las ciudades y que no discrimina estratos sociales, profesiones, edades u oficios, además, es bastante frecuente ver que las personas con discapacidades físicas se enfrentan con algunos inconvenientes para movilizarse dentro de la ciudad debido al mal estado de los andenes y vías de circulación. “En la medida que un espacio público sea apto para el uso por parte de un peatón con movilidad reducida, se confirma que el espacio es apto para cualquier usuario, con esto se logra una mayor cobertura de participación y apropiación de la colectividad ciudadana frente a la problemática de la movilidad peatonal por Bogotá”¹⁰

Las vías peatonales, en la mayoría de los casos, constituyen una parte descuidada dentro de la infraestructura de las ciudades y en la mayoría de los sectores vemos que su mantenimiento es insuficiente.

Los andenes básicamente se encuentran diseñados para los peatones quienes son las personas que transitan a pie por el espacio público; en los últimos años puede evidenciarse una gran mejoría en los espacios diseñados para los peatones de la ciudad de Bogotá D.C., teniendo en cuenta también mayor atención a los

¹⁰ Guía de Movilidad Peatonal Urbana pag 7

peatones con movilidad reducida (PMR). Un peatón con movilidad reducida, es aquel que requiera ayuda permanente por discapacidades o limitaciones físicas o mentales.

En todos los casos, es posible determinar la calidad de circulación en la infraestructura peatonal, esta se evalúa mediante parámetros que determinan el nivel de servicio de las vías, se consideran aspectos tales como volúmenes, velocidad de circulación y densidad.

Los niveles de servicio en las vías peatonales se clasifican de acuerdo al flujo peatonal que exista sobre cada una de las vías; se clasifican de la siguiente manera:

Flujo Continuo:

Es aquel tramo de vía que no presenta interrupciones en su recorrido, en el caso de encontrarse con una ciclo ruta, se observa que ambas van separadas y demarcadas de la zona peatonal.

En la Tabla 1, se observa como varia el nivel de servicio siendo A el óptimo dependiendo del espacio por peatón, del volumen de peatones y de la velocidad de cada uno de estos.

Tabla 1. Criterio de nivel de servicio para el flujo continuo

Nivel de Servicio	Espacio (m ² /peatón)	Volumen (peatón/min./m)	Velocidad (m/s)	v/c
A	>5,6	< 16	> 1,30	< 0,21
B	>3,7 - 5,6	> 16 - 23	> 1,27 - 1,30	> 0,21 - 0,31
C	>2,2 - 3,7	> 23 - 33	> 1,22 - 1,27	> 0,31 - 0,44
D	>1,4 - 2,2	> 33 - 49	> 1,14 - 1,22	> 0,44 - 0,65
E	>0,75 - 1,4	> 49 - 75	> 0,75 - 1,14	> 0,65 - 1,00
F	< 0,75	Variable	< 0,75	Variable

Fuente: Manual de capacidad para carreteras

Flujo Discontinuo:

Es aquel tramo de andén o vía peatonal donde se presentan interrupciones en su recorrido, por ejemplo una intersección semaforizada. Este nivel de servicio se determina midiendo el tiempo de espera de los peatones para poder cruzar la intersección.

En la Tabla 2, se observa como varia el nivel de servicio dependiendo de las demoras que experimenta cada usuario del cruce, siendo "A" el nivel óptimo.

Tabla 2. Criterios de nivel de servicio para flujo discontinuo

Nivel de Servicio	Demora Peatonal (s/peatón)	Probabilidad de desobediencia
A	< 10	Baja
B	> 10 - 20	
C	> 20 - 30	Moderada
D	> 30 - 40	
E	> 40 - 60	Alta
F	> 60	Muy Alta

Fuente: Manual de capacidad para carreteras

Al obtener el nivel de servicio basado en estos dos métodos se relacionan para ver la incidencia del espacio por peatón, el volumen y la velocidad promedio en las demoras que experimentan los usuarios del cruce, analizando así la capacidad del cruce de forma gráfica.

Para el análisis del nivel de servicio se deben obtener los siguientes parámetros:

Tiempo de recorrido (ti): éste parámetro da como resultado el tiempo que tarda un peatón en realizar el cruce completo, se halla tomando la hora de entrada y de salida del tramo en estudio, la resta de estas dos nos da el tiempo utilizado.

Tiempo medio de recorrido (\bar{t}): para hallar el tiempo medio de caminata durante un intervalo se utiliza la siguiente ecuación.

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}$$

Ecuación 3. Tiempo medio recorrido

Donde:

\bar{t} = Tiempo medio de recorrido de los peatones observados (sg).

t_i = Tiempo de recorrido.

n = Número de peatones aforados en cada intervalo.

Velocidad de caminata (v): la velocidad de caminata se obtiene dividiendo la longitud del tramo de estudio entre el tiempo de recorrido utilizado por cada usuario para atravesar este.

Volumen total peatonal (q): se define como el número de peatones que circulan en el cruce por minuto.

Densidad peatonal calculada (Kc): se define el como el número de peatones que circulan en el cruce por minuto sobre el área del cruce, se calcula con la ecuación y su unidad es (peat/m2):

$$K_c = \frac{q}{a}$$

Ecuación 4. Densidad peatonal

Donde:

K_c = Densidad peatonal observada.

q = Volumen total peatonal.

a = Area de cruce.

5.1.7 Determinación del Nivel de Servicio por cruce

Peatones por segundo en el cruce: este cálculo se realiza tomando el número de peatones en la hora pico, dividiéndolos en 3600 segundos que hacen parte de una hora dado por la expresión:

$$Peat. x seg en el cruce = \frac{\# Peat. h pico}{3600 sg de una hora}$$

Ecuación 5. Peat. por segundo en el cruce

Área de la zona de espera peatonal del cruce: Esta área se delimita en los planos del cruce y es de gran importancia pues este nivel de servicio está basado en el área por peatón en la zona de espera del cruce.

Tiempo de fase peatonal roja + amarilla: Es el lapso de tiempo en el cual se tienen los tiempos de las fases semaforales según el plan para cada cruce; este tiempo facilita los cálculos porque ayuda a saber el número de peatones en la zona de espera para realizar el cruce.

Peatones fase roja + amarilla: Es el número de peatones que están en la zona de espera listos a realizar el cruce, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Peat. fase roja + amarilla} = \# \text{ peat. seg} \times t. \text{ fase peat. amarilla + roja}$$

Ecuación 6. Peat. fase roja + amarilla

Espacio por peatón (m2): Espacio mínimo con el cual cuenta cada peatón para realizar el cruce. Este valor se obtiene de la siguiente forma:

$$\text{Espacio por peat.} = \frac{\text{área zona espera}}{\text{peat. fase roja + amarilla}}$$

Ecuación 7. Espacio por peatón

Densidad peatonal (peat/m2): Es un indicador de comodidad que percibe el peatón mientras espera para llevar a cabo el cruce, su ecuación es:

$$\text{Densidad peat.} = \frac{\text{peat. fase roja + amarilla}}{\text{área zona de cruce en vía}}$$

Ecuación 8. Densidad peatonal

Capacidad peatonal: Evalúa el nivel de servicio que presta cada una de las zonas de espera y zonas de cruce de la intersección según los flujos existentes.

$$\text{Capacidad zona de espera (andén)} = \frac{\text{área zona de espera}}{0.3 \text{ m}^2}$$

Ecuación 9. Capacidad peatonal andén

$$\text{Capacidad área de cruce (cebra)} = \frac{\text{área zona de cruce}}{0.70 \text{ m}^2}$$

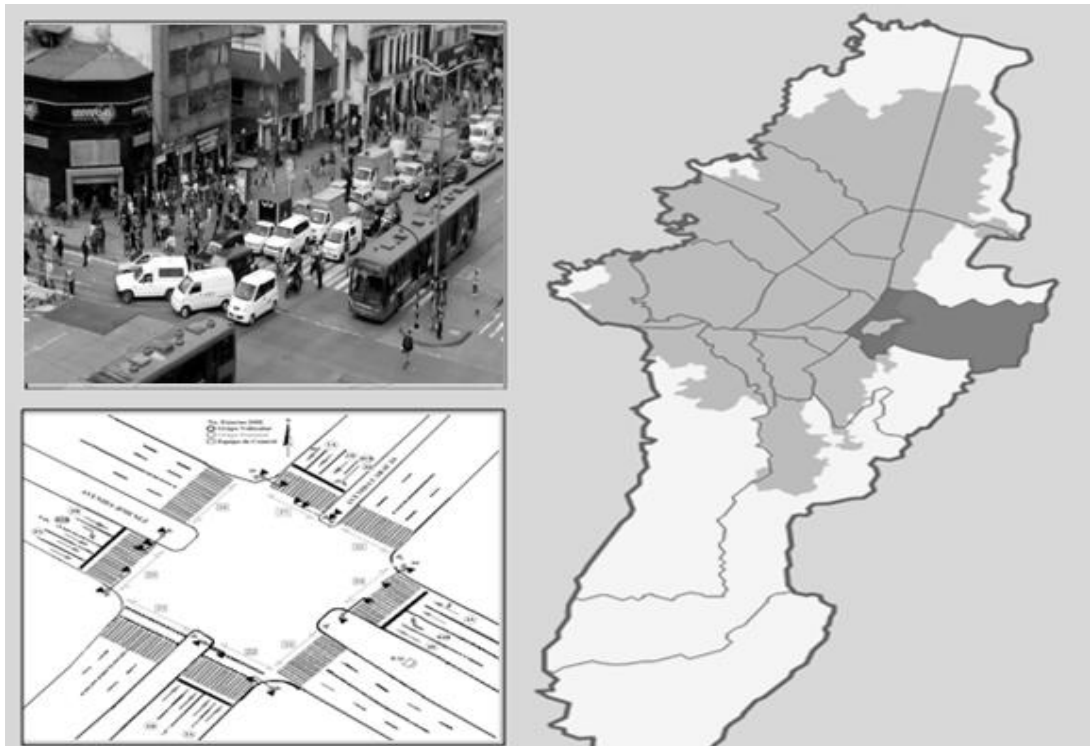
Ecuación 10. Capacidad peatonal cebra

Las ecuaciones anteriores determinan el nivel de servicio que presenta la intersección de la Av. Caracas con Cl 13 de la ciudad de Bogotá. El nivel de servicio varía desde la letra A hasta la letra F, siendo A un cruce con las condiciones óptimas para el peatón y F como un punto a mejorar.

5.2 MARCO GEOGRÁFICO

La intersección en la cual se realiza el presente estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá D.C. en la localidad número tres: Santa Fe. Esta investigación tendrá lugar en la intersección de dos vías de gran importancia para la capital como lo son la Avenida Caracas y la Calle 13, ubicado en el centro de la ciudad. La localidad de Santa fe incluye la zona de los edificios gubernamentales, el centro internacional, el sector bancario de la Av. Jiménez y un amplio sector comercial de la ciudad, lo cual hace que sea una zona de gran flujo vehicular y peatonal.

Imagen 4. Ubicación geográfica de la zona de estudio



Fuente propia

Esta localidad limita hacia el norte con el río Arzobispo, a la altura de la calle 39 y con la localidad de chapinero, hacia el sur limita con la Av. Primero de mayo en la localidad de San Cristóbal, hacia el este limita con los cerros orientales en cercanía a los municipios de Choachi y Ubaque, finalmente, limita hacia el oeste en la Av. Caracas con la localidad de Teusaquillo, los Mártires y Antonio Nariño. Por su cercanía a los cerros orientales, se observa que el terreno de la zona oriental es inclinado, con pendientes que varían hasta los 40°; y en la zona plana encontramos inclinaciones de hasta 4°.

La localidad de Santa Fe con coordenadas 4°36'50"N 74°04'43"O cuenta con 5 UPZ (Unidades de Planeamiento Zonal):

- Sagrado Corazón
- La Macarena
- Las Nieves
- Las Cruces
- Lourdes

Esta localidad cuenta con el sistema Transmilenio en la Av. Caracas, en la carrera Décima, y en la Av., Jiménez además de vías neurálgicas para el desarrollo de las actividades cotidianas de la ciudad.

5.3 MARCO LEGAL

La seguridad vial se fundamenta en la Ley 769 del Código Nacional de Tránsito el cual establece en su artículo 4, parágrafo 1: “El ministerio de transporte deberá elaborar un plan nacional de seguridad vial para disminuir la accidentalidad en el país que sirva además para los planes departamentales, metropolitanos, distritales y municipales de control de piratería y legalidad”. Como puede verse, la seguridad vial constituye una política no solo de orden nacional sino también departamental y municipal.

En desarrollo de lo establecido en el Código, el Ministerio expidió el plan Nacional de seguridad vial, adoptado mediante resolución 4101 del 28 de diciembre de 2004. Este plan establece que el mecanismo de planificación e intervención es el tratamiento de la accidentalidad bajo el concepto de riesgo, que considera los diferentes factores que contribuyen y que se clasifican desde la perspectiva de la amenaza y la vulnerabilidad. Plantea a su vez tres escenarios de intervención a saber:

- Grandes áreas urbanas: donde los peatones son más vulnerables.
- Áreas urbanas de tamaño intermedio: donde son más vulnerables los motociclistas y peatones
- Áreas rurales o zonas suburbanas: donde los más vulnerables son los pasajeros y peatones.

Dentro del programa de soporte institucional se propone la creación de un programa de auditorías de seguridad vial, con objetos y alcances definidos en el siguiente marco:

- Proponer un proyecto de ley que exija las autoridades de seguridad vial.
- Prevenir la creación de obras sin criterios de seguridad vial.
- Identificar los problemas existentes en la infraestructura que puedan generar accidentes de tránsito y proponer alternativas de solución.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

El análisis para el presente caso de estudio se basa en información previamente recolectada y seleccionada de diferentes entidades públicas que se relacionan directamente con el estudio de la problemática en la zona, estudios similares en diferentes zonas del país contribuyen en gran medida al lineamiento que debe tomar la presente investigación.

6.1 ENFOQUE

El carácter del estudio de la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo porque para responder la pregunta planteada y los objetivos propuestos, es necesario recolectar, investigar, encuestar, analizar y vincular la información obtenida para poder desarrollar el objetivo principal que es la modelación de la intersección en el punto mencionado.

6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se realizará una investigación de tipo descriptiva ya que basados en la información obtenida y con ayuda de datos recolectados en campo (aforos y mediciones) se pretende realizar la modelación adecuada la cual arrojará como resultado los ciclos óptimos para el funcionamiento correcto de dicha intersección teniendo en cuenta al peatón.

Este análisis pretende mejorar el nivel de servicio peatonal debido a que la intersección presenta un flujo discontinuo y es la razón principal por la cual se presentan accidentes de tránsito, se pretende determinar el tiempo adecuado para que los peatones puedan realizar el “cruce” sin afectar el flujo y los tiempos vehiculares.

6.3 INSTRUMENTOS PARA LA TOMA DE DATOS

- Lista de inspección de seguridad vial.
- Aforos peatonales.
- Aforo vehicular de conteo de colas de carros en fases rojas.
- Medición de las fases semaforales actuales.
- Análisis de la información.
- Modelación de la intersección.

6.4 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para realizar un proyecto investigativo es necesario seguir una serie de etapas que determinan el avance y el cumplimiento de los objetivos propuestos, a continuación se encuentra una breve descripción de los lineamientos que se siguieron para llevar a cabo dicho proceso.

6.4.1 Fase I: Estudio de antecedentes primarios y secundarios:

Esta fase de la investigación se divide en dos etapas que son las siguientes:

- Etapa 1 – Recopilación de información primaria: las actividades a realizar en esta etapa son:

Solicitud de información a entidades distritales acerca de accidentalidad, programaciones semaforales, volúmenes vehiculares y peatonales de la zona de estudio.

Revisión y búsqueda de antecedentes a nivel local, nacional e internacional que sirvan como base a la investigación.

Selección de la información, buscando la mayor utilidad al proyecto.

- Etapa 2 – Toma de datos en campo: En esta etapa se tomarán los datos necesarios para cumplir con el objeto del trabajo, las actividades a realizar son:

Toma de medidas de la geometría del cruce.

Revisión de elementos de seguridad vial.

Realización de aforos peatonales con una duración de 1 hora y con una frecuencia de 1 día (hora pico).

Medición de fases semaforales actuales.

Observar el comportamiento de los peatones al realizar el cruce.

6.4.2 Fase II: Análisis de la Información

Esta fase de la investigación se dedicara al estudio y análisis de los datos tomados en la fase anterior, para ello, se realizaran las siguientes actividades:

Determinación del nivel de servicio, basado en el confort del usuario.

Determinación del nivel de servicio basado en la demora experimentada por el peatón.

Correlacionar las variables tomadas en campo y calculadas en oficina.

Relación de índices de accidentalidad con el comportamiento de los peatones observado en campo.

Análisis gráfico y estadístico de los resultados

Calibración de curvas de nivel de servicio para el punto de estudio.

6.4.3 Fase III: Modelación

La etapa de modelación se divide en 2 etapas que son:

Etapa 1: Modelación de flujos y niveles de servicio peatonal, para esta etapa se realizaran las siguientes actividades:

Estimación de capacidades y medidas teóricas de la infraestructura peatonal basados en los flujos y niveles de servicio obtenidos.

Calculo teórico de tiempos de fases semaforales para elevar el nivel de servicio peatonal obtenido.

- Etapa 2: Determinación de nivel de servicio:

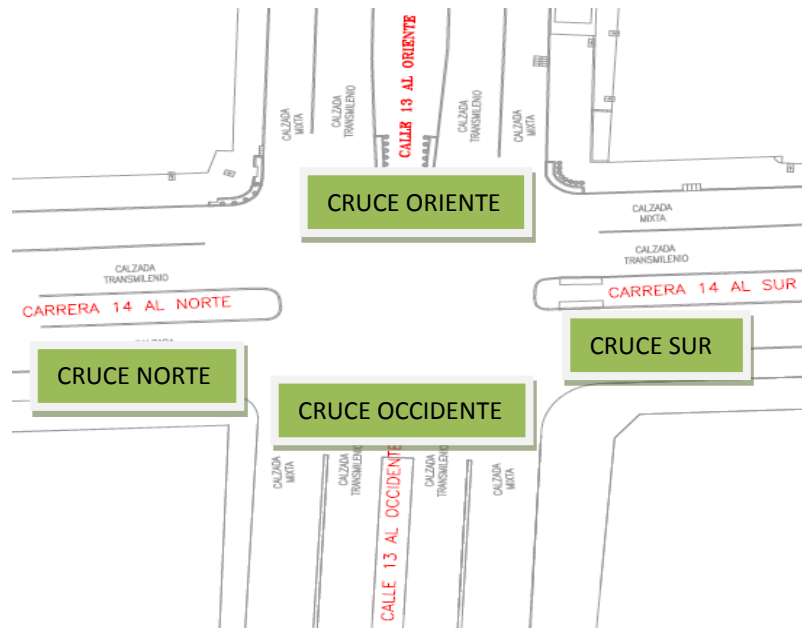
Determinación de nivel de servicio peatonal del cruce crítico a partir de tiempos de fases semaforales modificados.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Con base en información suministrada por las diferentes entidades encargadas del tránsito y la movilidad de la ciudad de Bogotá se realizó el análisis de los niveles de servicio que actualmente se presentan en las intersecciones semaforales. Para lograr dicho análisis primero se nombran los cuatro accesos con los que cuenta el cruce y serán utilizados de aquí en adelante para identificar las zonas de trabajo.

- CRUCE NORTE: comprende el cruce peatonal de la carrera 14 al norte.
- CRUCE SUR: comprende el cruce peatonal de la carrera 14 al sur.
- CRUCE ORIENTE: comprende el cruce peatonal de la calle 13 por el costado oriental.
- CRUCE OCCIDENTE: comprende el cruce peatonal de la calle 13 por el costado occidente.

Imagen 5. Identificación gráfica de los cruces

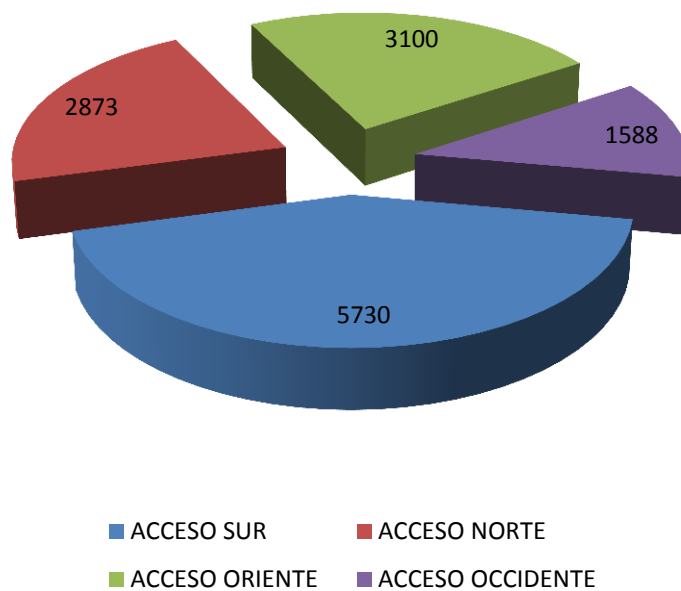


Fuente propia

7.1 VOLÚMENES PEATONALES DE LA INTERSECCIÓN.

La Imagen 6 muestra los volúmenes peatonales de la intersección en estudio en horas pico. El volumen del costado sur de la intersección presenta un flujo peatonal de 5.730¹¹ peatones por hora, indicando así, el mayor flujo peatonal en la zona y considerando éste el punto crítico.

Imagen 6. Volúmenes peatonales por cruce



Fuente propia

7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA INTERSECCIÓN.

La intersección en estudio cuenta con carriles de uso exclusivo del sistema BRT (Transmilenio) y carriles de uso mixto. La Tabla 3 muestra las características geométricas que se presentan actualmente en el cruce.

¹¹ Secretaria de Movilidad de Bogotá 2014

Tabla 3. Características geométricas de la intersección

Cruce	Anchos de carril (m)		Anchos de andén (m)	Anchos de separador (m)	Separador entre medios (m)
	Transmilenio	Mixto			
Norte	6,85	4,6	4,63	4,73	0,2
	7,2	5,81	5,11		
Sur	5,99	6,97	4,76	4,61	0,2
	7,04	4,7	4,87		
Oriente	7,98	5,9	5,57	8	0,2
	7,88	5,95	3,77		
Occidente	6,99	8,75	9,09	4	0,5
	6,99	8,75	3,64		

Fuente propia

La Tabla 4 indica si las medidas presentadas en la intersección cumplen con los criterios mínimos de diseño según el Manual de Vías Rurales para una vía tipo V-3D¹²

Tabla 4. Verificación de medidas del cruce con manual de vías rurales

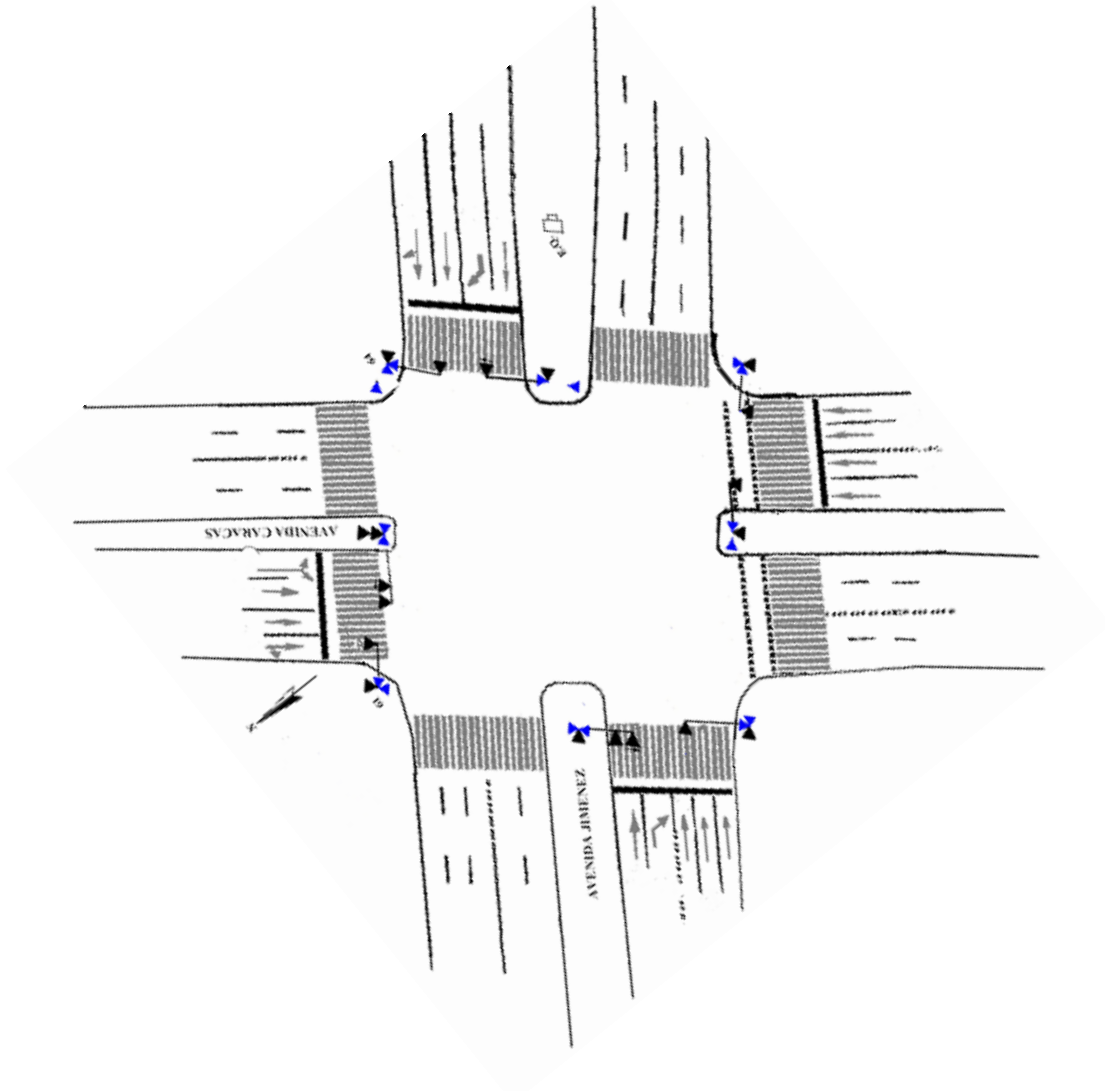
Ancho total min 34m.	Ancho anden min. 3,5	Ancho separador min. 5 m.	Ancho carril mixto Max. 3,25	Ancho carril transmilenio Max. 3,25
Norte	Si	No	Si	Si
Sur	Si	No	Si	Si
Oriente	Si	Si	Si	No
Occidente	Si	No	No	Si

Fuente propia

¹² ALACALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. Guía para el diseño de vías urbanas para Bogotá D.C., Bogotá 145 p

La imagen 7 indica los giros que existen en la actualidad en el cruce de la intersección de la Av. Caracas con Cl 13 y que están permitidos actualmente.

Imagen 7. Giros permitidos en la intersección



Fuente propia

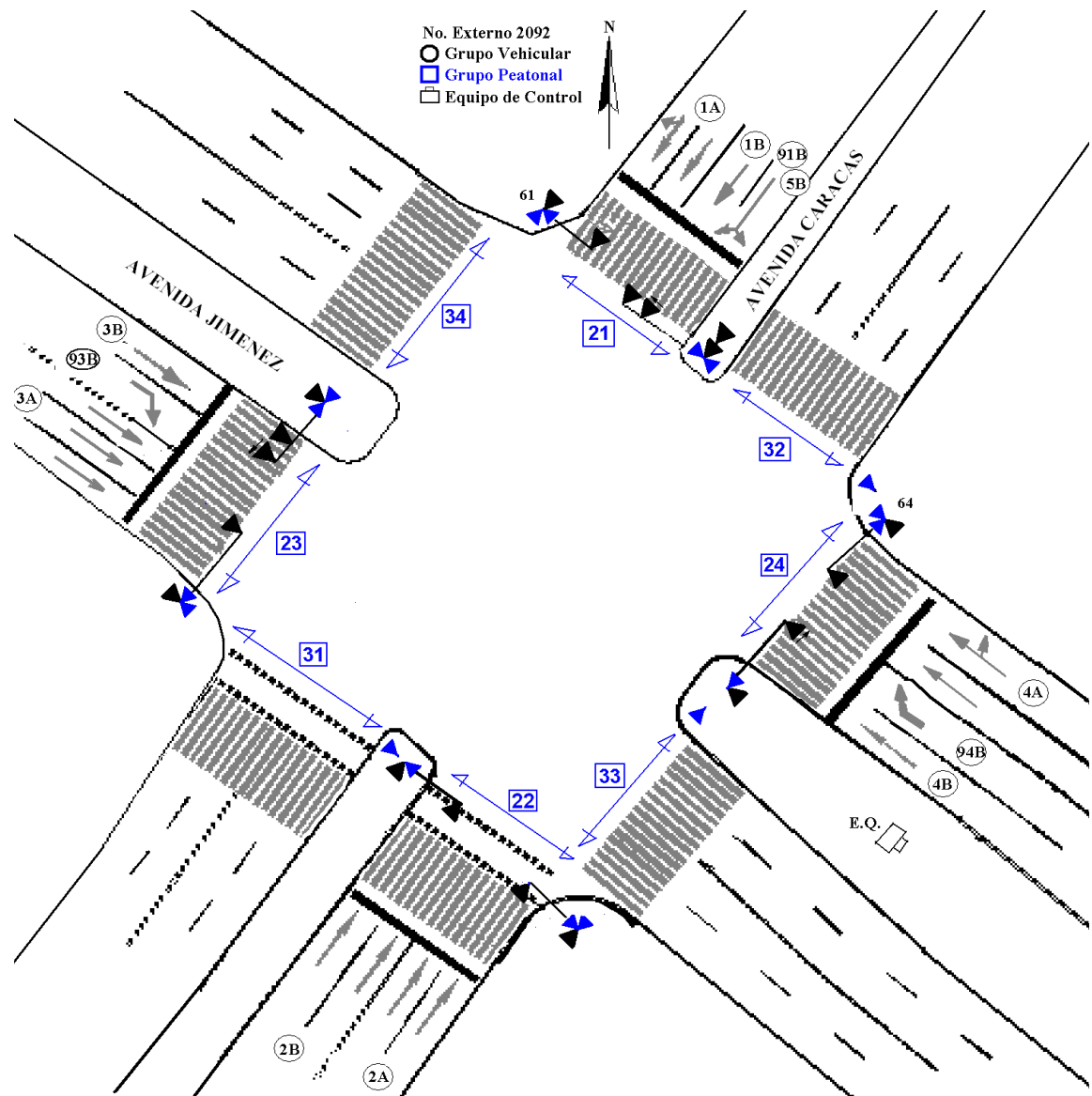
7.3 PROGRAMACIONES SEMAFORALES DE LA INTERSECCIÓN.

Tomando como base la información suministrada por la secretaria de movilidad de Bogotá D.C., se encuentra que la intersección cuenta con semáforos vehiculares y

peatonales con la función de regular el tráfico del sitio, estos cuentan con 8 planes de tiempos de duración del ciclo de luces (rojo + amarillo + verde), que varían dependiendo la hora y día de la semana.

La imagen 8 muestra los semáforos peatonales y vehiculares de la intersección.

Imagen 8. Localización y nomenclatura de los semáforos de la intersección



Fuente Secretaria de movilidad de Bogotá.

La tabla N° 5 indica la duración de los ciclos semaforales de la intersección que se presenta en el punto de estudio actualmente.

Tabla 5. Duración de los ciclos semaforales según plan de la intersección

Plan	Duración del ciclo (Sg).
1	100
2	100
3	100
4	100
5	90
6	90
7	75
8	60

Fuente propia

Tabla 6. Duración de fases semaforales peatonales según la hora pico y plan semaforal

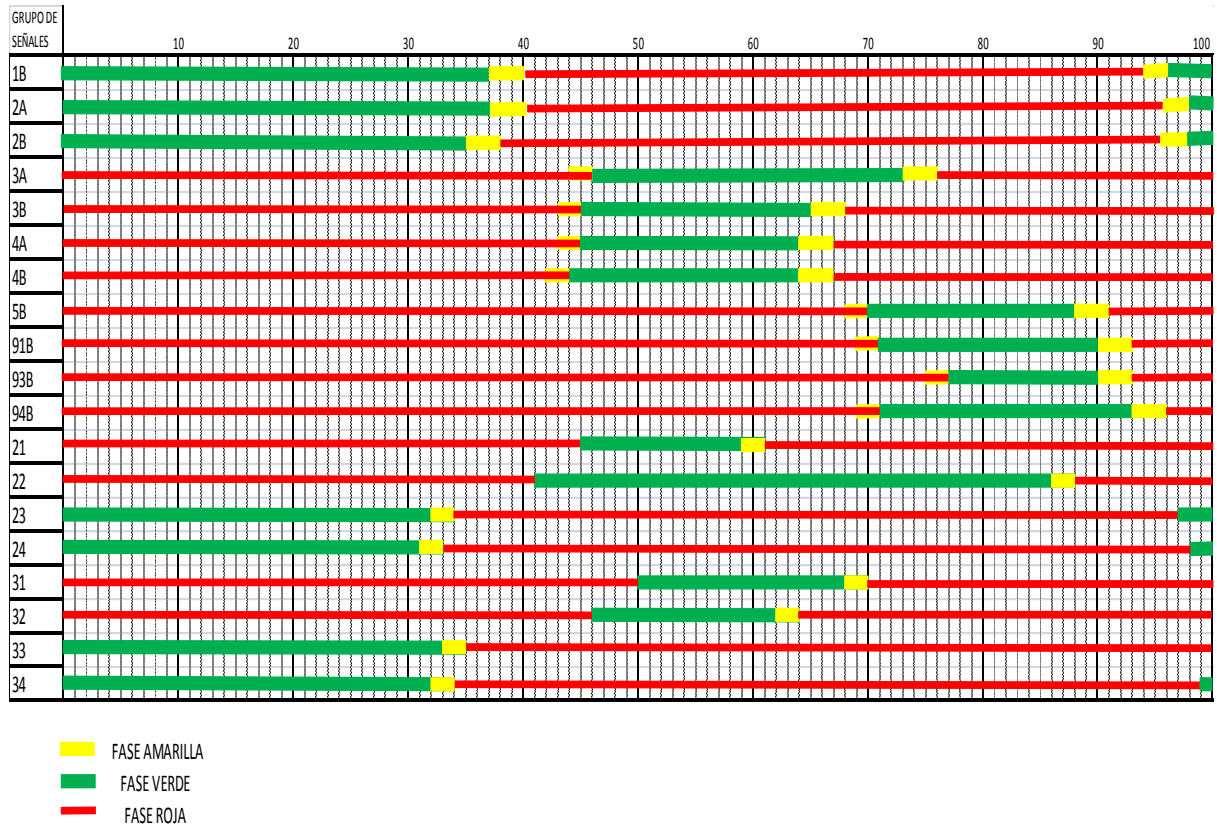
Acceso	ID Semáforo peatonal	Hora pico cruce	Plan semaforal (H. pico)	Tiempo fase roja (Sg).	Tiempo fase amarilla (Sg).	Tiempo fase verde (Sg).	Tiempo total ciclo (Sg).
Norte	21	4:30 - 5:30	4	84	2	14	100
	32			82	2	16	100
Sur	22	3:30 - 4:30	4	53	2	45	100
	31			80	2	18	100
Oriente	24	12:15 - 1:15	3	62	2	36	100
	33			60	2	38	100
Occidente	23	4:45 - 5:45	4	63	2	35	100
	34			63	2	35	100

Fuente propia

De acuerdo a los planes establecidos en esta intersección, la hora pico en este cruce está comprendido entre las 3:30 y las 4:30 pm y está regido por el plan 4 (tabla 6). En la imagen 9 se muestra la programación semaforal del plan 4,

teniendo en cuenta que las señales 21 al 34 son peatonales, de acuerdo a la tabla 6.

Imagen 9. Fases semaforales de la intersección en hora pico



Fuente propia.

7.3.1 Análisis de la Programación semaforal del punto crítico en horas pico

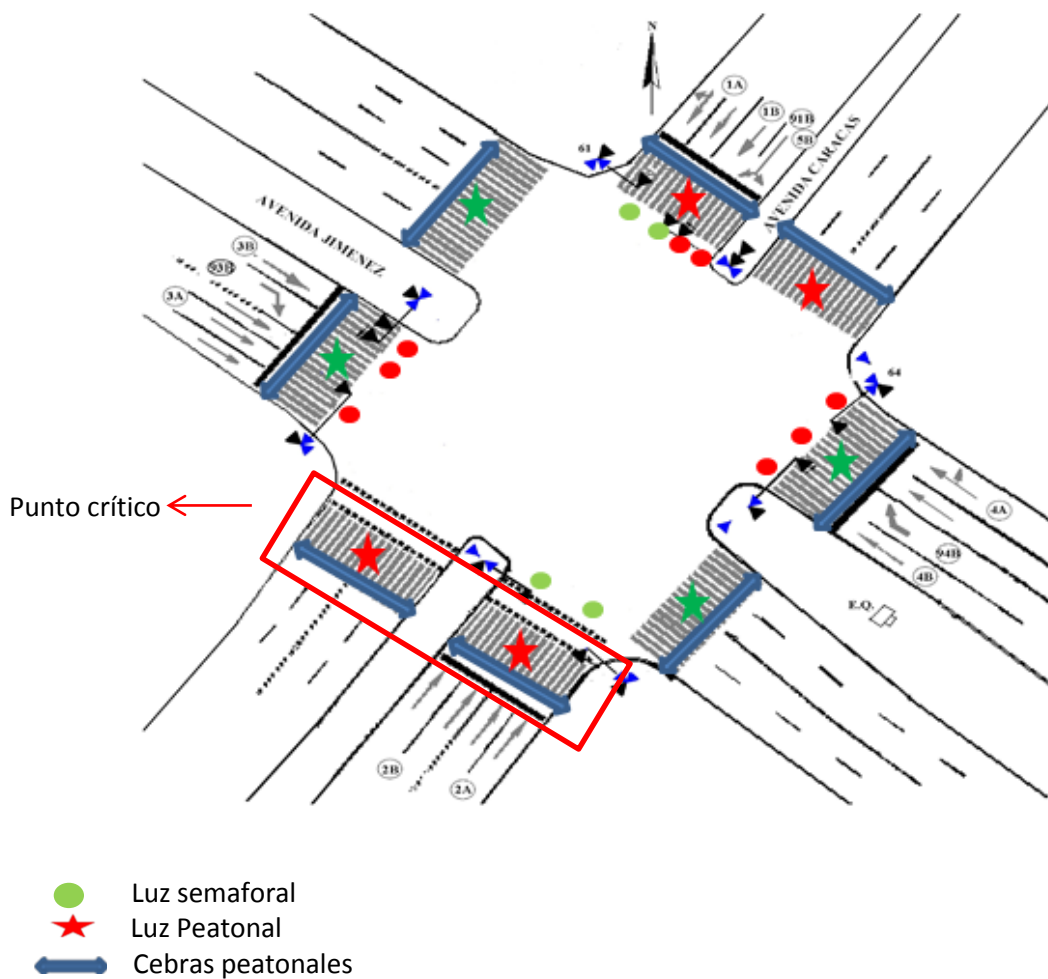
Para el análisis de la programación semaforal se hace necesario evaluar el comportamiento actual de los ciclos semaforales de la zona de estudio, tomando como referencia las señales peatonales del punto crítico.

La Imagen 10 muestra el comportamiento que tiene la intersección cuando las señales peatonales del punto crítico están fase roja. De acuerdo a la tabla 6 y realizando el cruce de las fases se observa que los tiempos de ambos semáforos coinciden casi en los mismo tiempos, así mismo se observa que los pasos

vehiculares del acceso norte y sur se encuentran en verde y las semáforos peatonales del acceso oriente y occidente están en fase verde, mientras los semáforos vehiculares se encuentran en rojo.

Este comportamiento demuestra un desarrollo normal porque no hay cruces entre fases.

Imagen 10. Comportamiento de la intersección cuando los semáforos peatonales del punto crítico están en fase roja



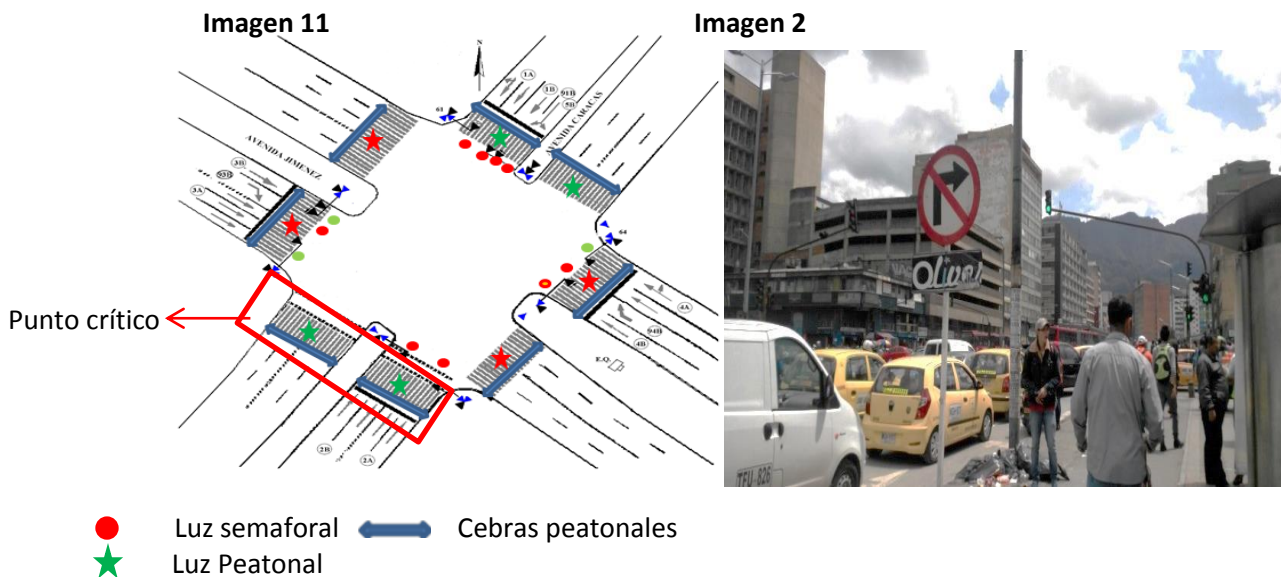
Fuente Secretaria de Movilidad de Bogotá

En la imagen 11 puede evidenciarse que ambos cruces en el punto crítico (peatonal y vehicular) muestran luz verde. Antes de realizar el cruce se encuentra una señal que prohíbe el giro hacia el sur (imagen 2), esta señal es infringida por un alto porcentaje de vehículos ocasionando así gran congestión y riesgo para los peatones que realizan su paso peatonal en la fase permitida.

Los semáforos vehiculares del acceso norte se encuentran en fase roja y los peatonales en fase verde. En cuanto a los accesos oriental y occidental los semáforos vehiculares se encuentran en verde y los peatonales están en fase verde, mostrando así un comportamiento normal porque no hay cruces entre fases.

IMAGEN 2. Muestra la prohibición de giro a la derecha, giro que es infringido por la mayoría de vehículos particulares.

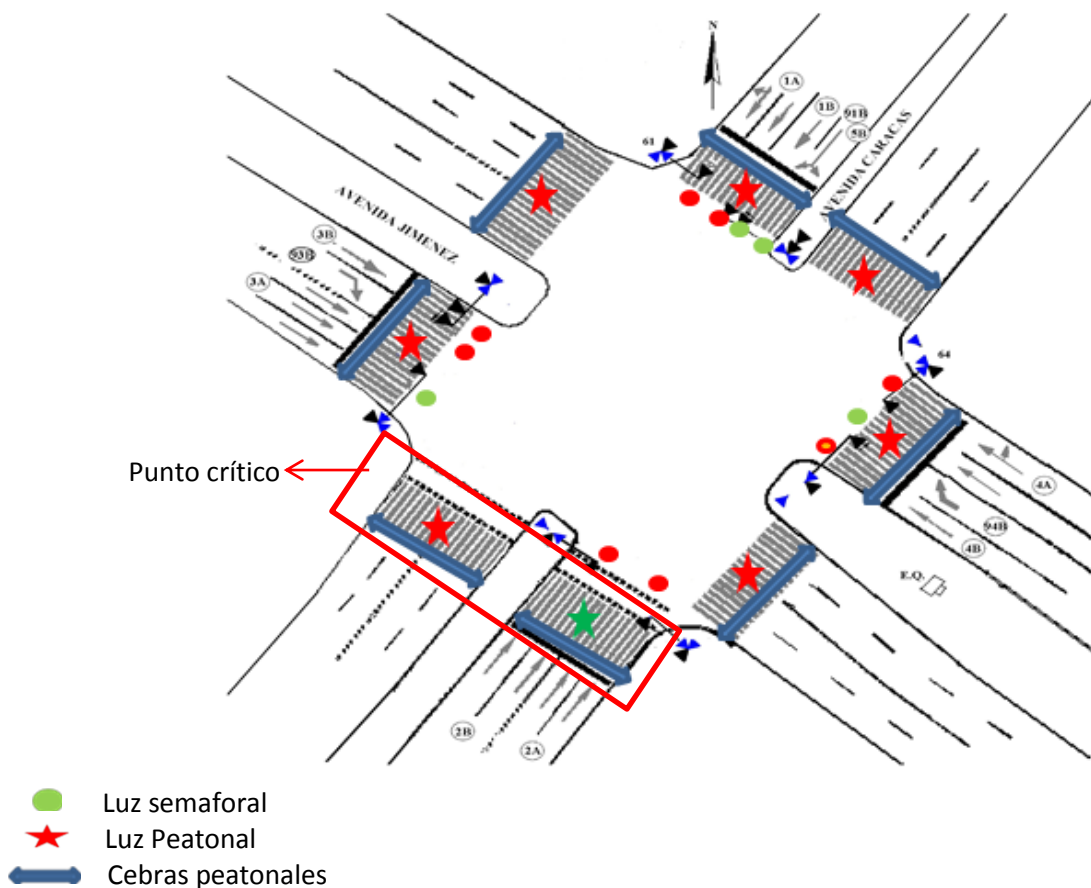
Imagen 11. Comportamiento de la intersección cuando los semáforos peatonales del punto crítico están en fase verde.



Fuente propia

La imagen 12 muestra un comportamiento inadecuado de la intersección debido a que en el punto crítico hay diferencia de tiempos de fase verde en el cual la señal 31 tiene 18 segundos y la señal 22 tiene 45 segundos, quedando un tiempo muerto de 18 segundos pues la señal 1A (paso de vehículos mixtos de norte a sur) presenta luz roja y la señal 3B (giro de articulados de transmilenio hacia el sur, que se utiliza ocasionalmente) da un giro de 13 segundos que limita el tiempo del paso peatonal.

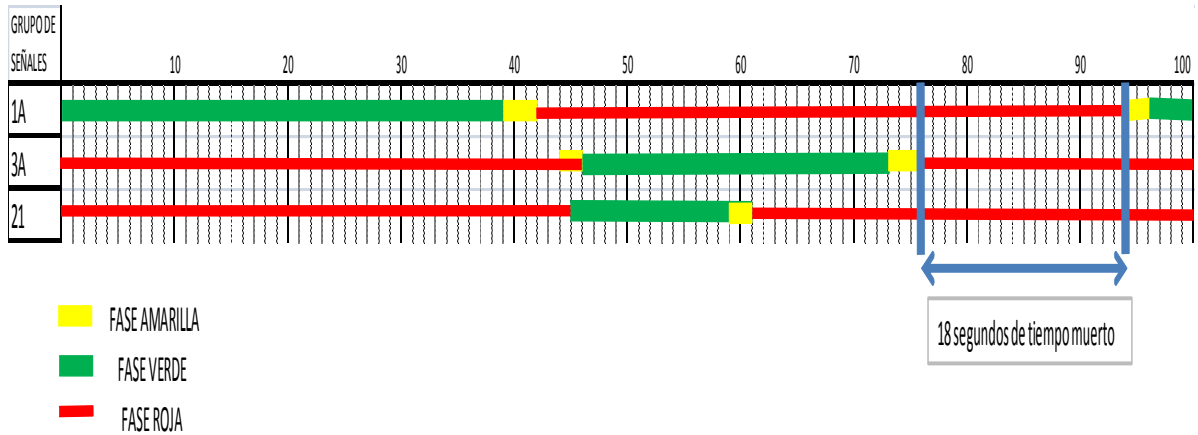
Imagen 12. Comportamiento de la intersección cuando hay tiempo muerto para cruce peatonal en el punto crítico.



Fuente secretaria de movilidad de Bogotá

En la imagen 13 se presenta el cruce de fases semaforales que genera el tiempo muerto para cruce peatonal descrito en la imagen 11.

Imagen 13. Programación semaforal del punto crítico



Fuente propia.

7.4 CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO ACTUAL DEL CRUCE.

Con las características geométricas del cruce y los flujos peatonales se determinaron los resultados del volumen peatonal y la hora pico del cruce como se identifica en la Tabla 7.

Tabla 7. Volumen peatonal y hora pico por cruce

	Acceso sur	Acceso norte	Acceso oriente	Acceso occidente
Hora pico	3:30 - 4:30	4:30 - 5:30	12:15 - 1:15	4:45 - 5:45
Flujo peatonal máximo	5730	2873	3100	1588

Fuente propia

El resultado anterior muestra que el acceso sur de la intersección presenta los mayores flujos peatonales entre las 3:30 pm y 4:30 pm. Esta información es utilizada para determinar el nivel de servicio peatonal considerando aspectos como:

7.4.1 Nivel de servicio por espacio por peatón en la zona de espera para los 4 cruces:

De acuerdo a la Tabla 1 (Criterio de nivel de servicio para el flujo continuo) se considera

7.4.1.1 Nivel peatonal acceso sur.

De acuerdo con la ecuación 5 (Peat. por segundo en el cruce), el número de peatones por segundo en el cruce es:

$$\text{Peat. } x \text{ seg en el cruce} = \frac{5730 \text{ peat.}}{3600 \text{ sg}} = 1.59 \text{ peat/seg}$$

De la ecuación 6 (Peat. fase roja + amarilla) se deduce:

$$\text{Peat. fase roja + amarilla} = 1.59 \frac{\text{peat}}{\text{seg}} * 68 \text{ seg} = 108.2 \text{ peat.}$$

La ecuación 7 (Espacio por peatón) indica el espacio que tiene cada peatón al momento de realizar el cruce de la siguiente manera:

$$\text{Espacio por peatón} = \frac{72.91 \text{ m}^2}{108.2 \text{ peat}} = 0.67 \text{ m}^2/\text{peat.}$$

Densidad peatonal (Ecuación 8)

$$\text{Densidad peatonal} = \frac{108.2 \text{ peat}}{138.85 \text{ m}^2} = 0.78 \text{ peat}/\text{m}^2$$

Mediante la ecuación 9 (Capacidad peatonal anden) es posible determinar la capacidad de la zona de espera en el andén la cual nos indica el nivel de servicio en el cual se encuentra el mismo:

$$\text{Capacidad zona de espera (andén)} = \frac{72.91 \text{ m}^2}{0.3 \text{ m}^2} = 243 \text{ m}^2$$

Mediante la ecuación 10 (Capacidad peatonal cebra) es posible determinar la capacidad existente en la zona de cruce (cebra) como se determina a continuación:

$$\text{Capacidad área de cruce (cebra)} = \frac{\text{área zona de cruce}}{0.70 \text{ m}^2}$$

Tabla 8. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal en el cruce sur

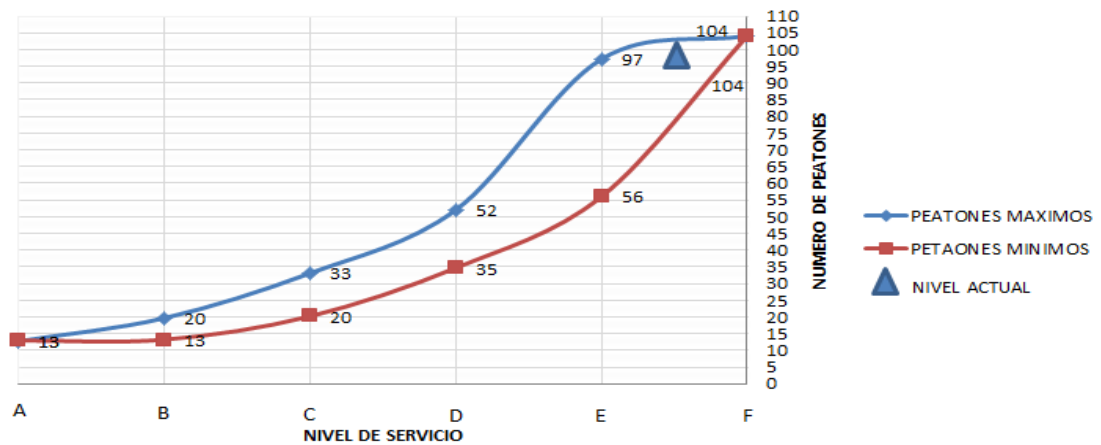
Acceso sur		Hora pico	Nivel de servicio basado en espacio por peatón
Hora pico	3:30 - 4:30		
Flujo peatonal máximo	5730		
Peatones por segundo en el cruce	1,59		
Áreas zona de espera (andén) m ²	72,91		
Áreas zona de cruce (cebra) m ²	138.85		
Tiempo fase peatonal roja + amarilla (seg)	68		
Peatones por fase roja + amarilla	108,2		
Espacio por peatón (m²)	0,67		
Densidad peatonal (peat/m ²)	0.78		
Capacidad del cruce (peat)	243		

Fuente propia

Considerando que el espacio por peatón es menor a 0,75 m², el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo) es F.

La imagen 14 muestra el número mínimo y máximo de peatones que podrían estar esperando el cruce por nivel de servicio (A,B,C,D,E,F), teniendo en cuenta el área de espera de éste.

Imagen 14. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso sur



Fuente propia

7.4.1.2 Nivel peatonal acceso norte.

De acuerdo con la ecuación 5 (Peat. por segundo en el cruce), el número de peatones por segundo en el cruce es:

$$\text{Peatones por segundo en el cruce} = \frac{2.873 \text{ peat}}{3600 \text{ s}} = 0.80 \text{ peat/s}$$

De la ecuación 6 (Peat. fase roja + amarilla) se deduce:

$$\text{Peatones fase roja + amarilla} = 0.80 \text{ peat/s} * 85 \text{ s} = 67.8 \text{ peat.}$$

La ecuación 7 (Espacio por peatón) indica el espacio que tiene cada peatón al momento de realizar el cruce de la siguiente manera:

$$\text{Espacio por peatón} = \frac{55.37 \text{ m}^2}{67.8 \text{ peat.}} = 0.82 \text{ m}^2/\text{peat.}$$

Densidad peatonal (Ecuación 8)

$$\text{Densidad Peatonal} = \frac{67.8 \text{ peat}}{161 \text{ m}^2} = 0.42 \text{ peat}/\text{m}^2$$

Mediante la ecuación 9 (Capacidad peatonal anden) es posible determinar la capacidad de la zona de espera en el andén la cual nos indica el nivel de servicio en el cual se encuentra el mismo:

$$\text{Capacidad del cruce} = \frac{55.37 \text{ m}^2}{0.3} = 184.57 \text{ m}^2$$

Tabla 9. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal cruce norte

Acceso norte		Hora pico	Nivel de servicio basado en espacio por peatón
Hora pico	4:30 – 5:30		
Flujo peatonal máximo	2873		
Peatones por segundo en el cruce	0.80		
Áreas zona de espera (andén) m2	55.37		
Área zona cruce (cebra) m2	161		
Tiempo fase peatonal roja + amarilla (seg)	85		
Peatones por fase roja + amarilla	67.8		
Espacio por peatón (m2)	0.82		
Densidad peatonal (peat/m2)	0.42		
Capacidad del cruce (peat)	184.57		

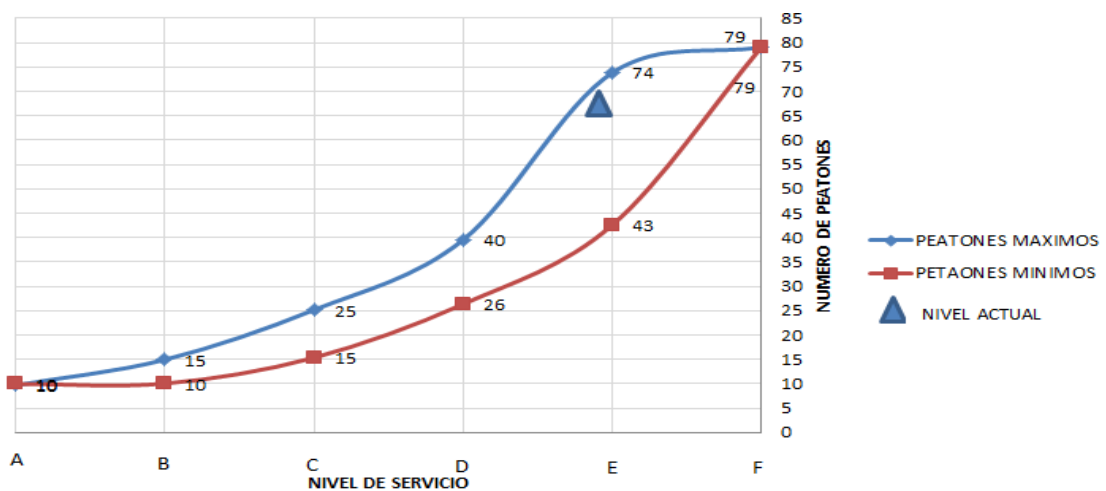
E

Fuente propia

Considerando que el espacio por peatón está entre a 0,75 y 1,4 m², el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo) es E.

La imagen 15 muestra el número mínimo y máximo de peatones que podrían estar esperando el cruce por nivel de servicio (A,B,C,D,E,F), teniendo en cuenta el área de espera de éste.

Imagen 15. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso norte



Fuente propia

7.4.1.3 Nivel peatonal acceso oriente.

De acuerdo con la ecuación 5 (Peat. por segundo en el cruce), el número de peatones por segundo en el cruce es:

$$\text{Peatones por segundo en el cruce} = \frac{3.100 \text{ peat}}{3600 \text{ s}} = 0.86 \text{ peat/s}$$

De la ecuación 6 (Peat. fase roja + amarilla) se deduce:

$$\text{Peatones fase roja + amarilla} = 0.86 \frac{\text{peat}}{\text{s}} * 63 \text{ seg} = 54.25 \text{ peat.}$$

La ecuación 7 (Espacio por peatón) indica el espacio que tiene cada peatón al momento de realizar el cruce de la siguiente manera:

$$\text{Espacio por peaton} = \frac{64.86 \text{ m}^2}{54.25 \text{ peat}} = 1.20 \text{ m}^2/\text{peat.}$$

Densidad peatonal (Ecuación 8)

$$\text{Densidad Peatonal} = \frac{54.25 \text{ peat.}}{195.11 \text{ m}^2} = 0.28 \text{ peat}/\text{m}^2$$

Mediante la ecuación 9 (Capacidad peatonal andén) es posible determinar la capacidad de la zona de espera en el andén la cual nos indica el nivel de servicio en el cual se encuentra el mismo:

$$\text{Capacidad del cruce} = \frac{64.86 \text{ m}^2}{0.3} = 216.2 \text{ m}^2$$

Tabla 10. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal cruce oriental

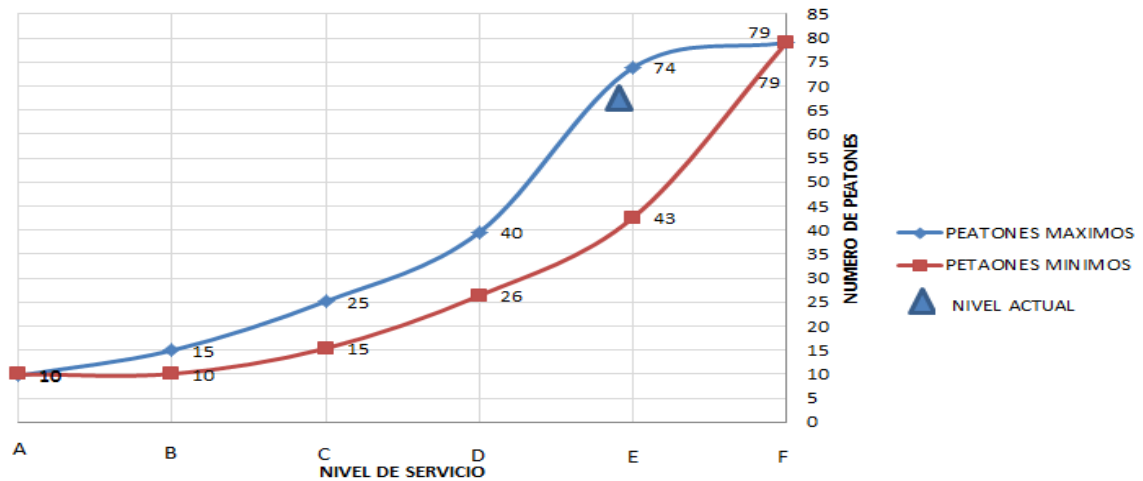
Acceso oriental		Nivel de servicio basado en espacio por peatón
Hora pico	12:15 – 1:15	
Flujo peatonal máximo	3100	
Peatones por segundo en el cruce	0.86	
Áreas zona de espera (andén) (m2)	64.86	
Área zona de cruce (cebra) m2	195.11	
Tiempo fase peatonal roja + amarilla (seg)	63	
Peatones por fase roja + amarilla	54.25	
Espacio por peatón (m2)	1.20	
Densidad peatonal (peat/m2)	0.28	
Capacidad del cruce (peat)	216.2	

Fuente propia

Considerando que el espacio por peatón está entre a 0,75 y 1,4 m2, el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo) es E.

La imagen 16 muestra el número mínimo y máximo de peatones que podrían estar esperando el cruce por nivel de servicio (A,B,C,D,E,F), teniendo en cuenta el área de espera de éste.

Imagen 16. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso oriente



Fuente propia

7.4.1.4 Nivel peatonal acceso occidente.

De acuerdo con la ecuación 5 (Peat. por segundo en el cruce), el número de peatones por segundo en el cruce es:

$$\text{Peatones por segundo en el cruce} = \frac{1.588 \text{ peat}}{3600 \text{ s}} = 0.44 \text{ peat/s}$$

De la ecuación 6 (Peat. fase roja + amarilla) se deduce:

$$\text{Peatones fase roja + amarilla} = 0.44 \frac{\text{peat}}{\text{s}} * 65 \text{ seg} = 28.67 \text{ peat.}$$

La ecuación 7 (Espacio por peatón) indica el espacio que tiene cada peatón al momento de realizar el cruce de la siguiente manera:

$$\text{Espacio por peaton} = \frac{72.18 \text{ m}^2}{28.67 \text{ peat}} = 2.52 \text{ m}^2/\text{peat.}$$

Densidad peatonal (Ecuación 8)

$$\text{Densidad Peatonal} = \frac{28.67 \text{ peat.}}{124.58 \text{ m}^2} = 0.23 \text{ peat}/\text{m}^2$$

Mediante la ecuación 9 (Capacidad peatonal andén) es posible determinar la capacidad de la zona de espera en el andén la cual nos indica el nivel de servicio en el cual se encuentra el mismo:

$$\text{Capacidad del cruce} = \frac{72.18 \text{ m}^2}{0.3} = 240.6 \text{ m}^2$$

Tabla 11. Resumen de resultados de nivel de servicio peatonal cruce occidental

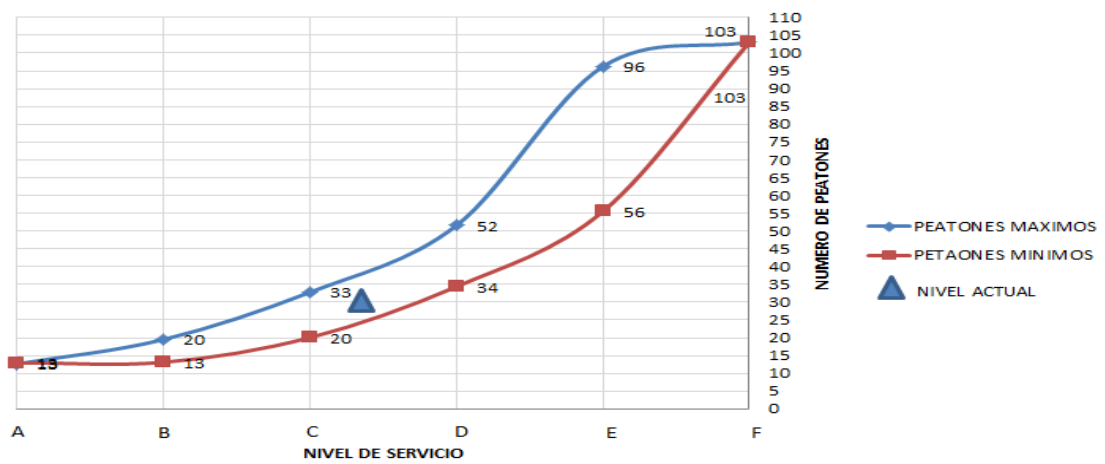
Acceso occidental		Nivel de servicio basado en espacio por peatón
Hora pico	4:45 – 5:45	
Flujo peatonal máximo	1588	
Peatones por segundo en el cruce	0.44	
Áreas zona de espera (andén) m2	72.18	
Área zona de cruce (cebra) m2	124.58	
Tiempo fase peatonal roja + amarilla (seg)	65	
Peatones por fase roja + amarilla	28.67	
Espacio por peatón (m2)	2.52	
Densidad peatonal (peat/m2)	0.23	
Capacidad del cruce (peat)	240.6	

Fuente propia

Considerando que el espacio por peatón está entre a 2,2 y 3,7 m2, el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo) es C.

La imagen 17 muestra el número mínimo y máximo de peatones que podrían estar esperando el cruce por nivel de servicio (A,B,C,D,E,F), teniendo en cuenta el área de espera de éste.

Imagen 17. Variación del nivel de servicio peatonal en la zona de espera para acceso occidente



Fuente propia

7.4.1.5 Resumen y análisis del nivel de servicio por cruce

La tabla 12 (Nivel de servicio peatonal en cada cruce) muestra que el punto crítico (Nivel de servicio F) en la intersección semaforal se presenta en el acceso sur considerando únicamente el espacio por peatón que se tiene en la zona de espera.

Tabla 12. Nivel de servicio peatonal en cada cruce

	Acceso sur	Acceso norte	Acceso oriente	Acceso occidente
Hora pico	3:30 – 4:30	4:30 – 5:30	12:15 – 1:15	4:45 – 5:45
Flujo peatonal máximo	5730	2873	3100	1588
Peatones por segundo en el cruce	1.59	0.80	0.86	0.44
Área de zona de espera (m ²)	72.91	55.37	64.86	72.18
Tiempo de fase peatonal roja + amarilla (seg)	68	85	63	65
Peatones por fase roja + amarilla	108.2	67.8	54.25	28.67
Espacio por peatón (m²)	0.67	0.82	1.20	2.52
Área del cruce en vía (m ²)	138.50	161	195.11	124.58
Densidad peatonal (peat/m ²)	0.78	0.42	0.28	0.23
Capacidad del cruce (peat)	243	184.57	216.2	240.6
Nivel de servicio	F	E	E	C

Fuente propia

Considerando que el espacio por peatón es menor a 0,75 m², el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo) es “F”.

7.4.2. Nivel de servicio según la demora peatonal

Teniendo en cuenta la información relacionada en la Tabla 2 (Criterios de nivel de servicio para flujo discontinuo) y la programación semaforal de la intersección, se consideran los niveles de servicio que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Nivel de servicio por demora peatonal

	Cruce sur	Cruce norte	Cruce oriente	Cruce occidente
Tiempo de espera (Seg).	68	85	63	65
Nivel de servicio	F	F	F	F

Fuente propia

Considerando que la demora peatonal en todos los accesos de la intersección es mayor a 60 seg/peatón, el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 2 (Criterios de nivel de servicio para flujo discontinuo) es “F”.

Con base en los resultados anteriores se analizarán los cálculos restantes considerando únicamente el acceso sur debido a que es el único cruce que presenta un nivel de servicio F tanto por espacio por peatón como por velocidad de caminata con información tomada en campo.

7.4.3. Nivel de servicio basado en velocidades de caminata

Con información tomada en campo, se analizó el tiempo promedio que tardan en realizar el cruce los peatones que utilizan el acceso sur. La Tabla 14 (Nivel de servicio peatonal basado en velocidades de caminata) indica que la velocidad promedio de los peatones es de 1,11 m/s. De acuerdo a la Tabla 1 (Criterio de nivel de servicio para el flujo continuo) se observó que el nivel de servicio por velocidades es “E”

Tabla 14. Nivel de servicio peatonal basado en velocidades de caminata en el punto crítico

Condición	Tiempo de cruce (seg.)	Tiempo promedio de cruce (seg.)	Velocidad promedio de cruce (Longitud: 30,13m) en m/Sg.	Nivel de servicio por velocidad
Niño	26	27	1,11	E
Personas entre 18 y 60	28			
Condiciones especiales (Mujer en embarazo, personas con coches, discapacitados)	29			
Adulto mayor	26			

Fuente propia

Considerando que la velocidad promedio de caminata en el acceso sur es de 1,11 m/seg, el nivel de servicio según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo) es “E”.

7.5 MODELACIÓN

Para realizar la modelación de las fases semaforales que permitieran mejorar el nivel de servicio actual de la intersección se consideró:

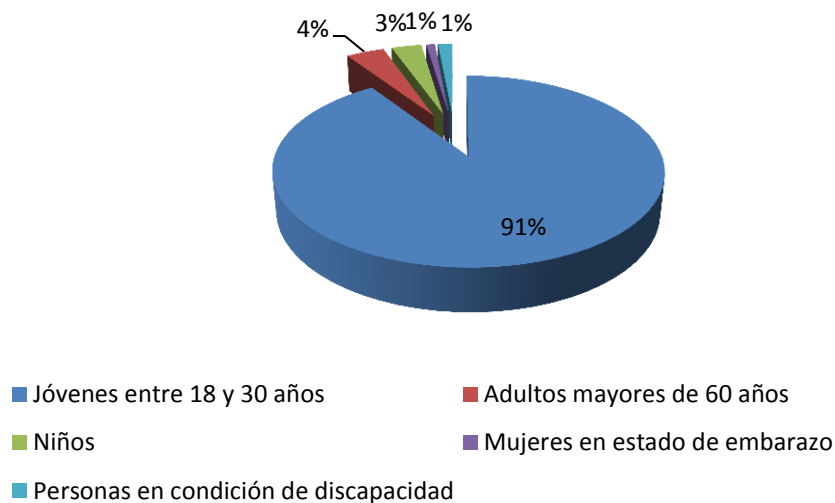
Aforos peatonales tomados en campo

Análisis de la programación semaforal descrito en el numeral 7.3

7.5.1 AFOROS PEATONALES

La Imagen 18 muestra el conteo peatonal realizado en el punto crítico (acceso sur) donde se observa de manera porcentual la composición peatonal que está dada en este punto. Los aforos peatonales se realizaron en las horas pico comprendida entre 3:30 pm y 4:30 pm. La gráfica evidencia que en su mayoría se compone de jóvenes entre 18 y 30 años de edad.

Imagen 18. Composición peatonal del cruce



Fuente propia

7.5.2 PROGRAMACIÓN SEMAFORAL

El punto crítico de la intersección de la Av. Caracas con Calle 13 se encuentra ubicado sobre el acceso sur, la Tabla 6 (Duración de las fases semaforales peatonales según la hora pico y plan semaforal) indica que existe en hora pico una duración del semáforo peatonal de 18 segundos para el cruce 31 y 45 segundos para el cruce 22 (Imagen 8 Localización y nomenclatura de los semáforos de la intersección) lo cual genera mayor congestión peatonal al momento de realizar el cruce; debido a que los peatones no pueden realizar el cruce de manera continua puesto que las fases peatonales no cuentan con la misma duración y esto hace que se genere congestión en el separador.

La intersección cuenta con un tiempo muerto de 18 segundos el cual se propone utilizar para incrementar la fase verde peatonal del semáforo 31.

El acceso occidente de la intersección tiene un giro prohibido hacia el sur, este giro es infringido por un alto porcentaje de vehículos particulares que, al momento de hacer el giro, interfiere con el cruce peatonal y es justo allí donde se genera la mayor congestión. Se pretende adicionar un tiempo semaforal de giro hacia el sur para que los vehículos particulares cuenten con un tiempo exclusivo para realizar el giro sin interferir con el tiempo de la fase verde peatonal.

En la Imagen 8 (Localización y nomenclatura de los semáforos de la intersección) muestra el giro 93B el cual tiene una duración de 13 segundos (Imagen 9 Fases semaforales de la intersección en hora pico), este giro es de uso exclusivo para los articulados de Transmilenio, en los aforos realizados, se observó que es utilizado ocasionalmente, razón por la cual se modifica la duración de la fase verde de este giro para hacer uso de este tiempo y de este modo darlo al giro vehicular para que no interfiera con el tránsito peatonal y eliminar la señal de tránsito que restringe el giro.

Las fases semaforales en horas pico de la intersección quedarán del siguiente modo:

Fases Vehiculares:

Tabla 15. Cambios de fases vehiculares punto crítico

Semáforo	Tiempo (segundos)	Modificación
1A	39	No cambia
1B	37	No cambia
3A	27	No cambia
93B	9	Se traslada este tiempo al carril de vehiculos mixtos un tiempo de 9 segundos para permitir este giro y eliminar la señal de tránsito

Fuente propia

Fases Peatonales:

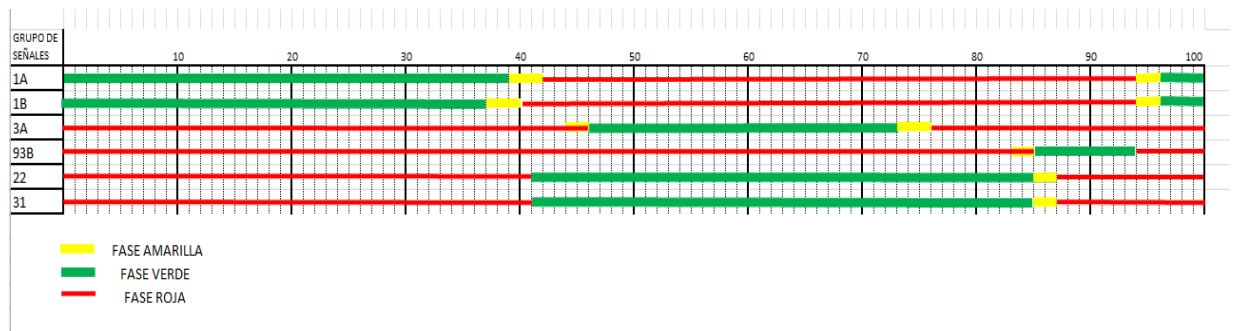
Tabla 15. Cambios de fases peatonales punto crítico

Semáforo	Tiempo (segundos)	Modificación
22	44	Se disminuye el tiempo de cruce de 45 seg. a 44 seg.
31	44	Se aumenta el tiempo de cruce de 18 seg. a 44 seg.

Fuente propia

La imagen 19 muestra la sincronización propuesta para los semáforos a intervenir que afectan el punto crítico (1A, 1B, 3A, 93B, 22 y 31)

Imagen 19. Programación semaforal final punto crítico



Fuente propia

7.5.3 NIVEL DE SERVICIO FINAL

Aumentando el tiempo de cruce peatonal sobre el acceso sur (semáforos 31 y 22) cambia de manera considerable el nivel de servicio sobre este punto.

La tabla 18 Indica que al aumentar el tiempo de la fase peatonal a 44 segundos el espacio por peatón aumentaría a 1.97 m² mejorando el nivel de servicio de “F” a “D”

Tabla 16. Nivel de servicio final

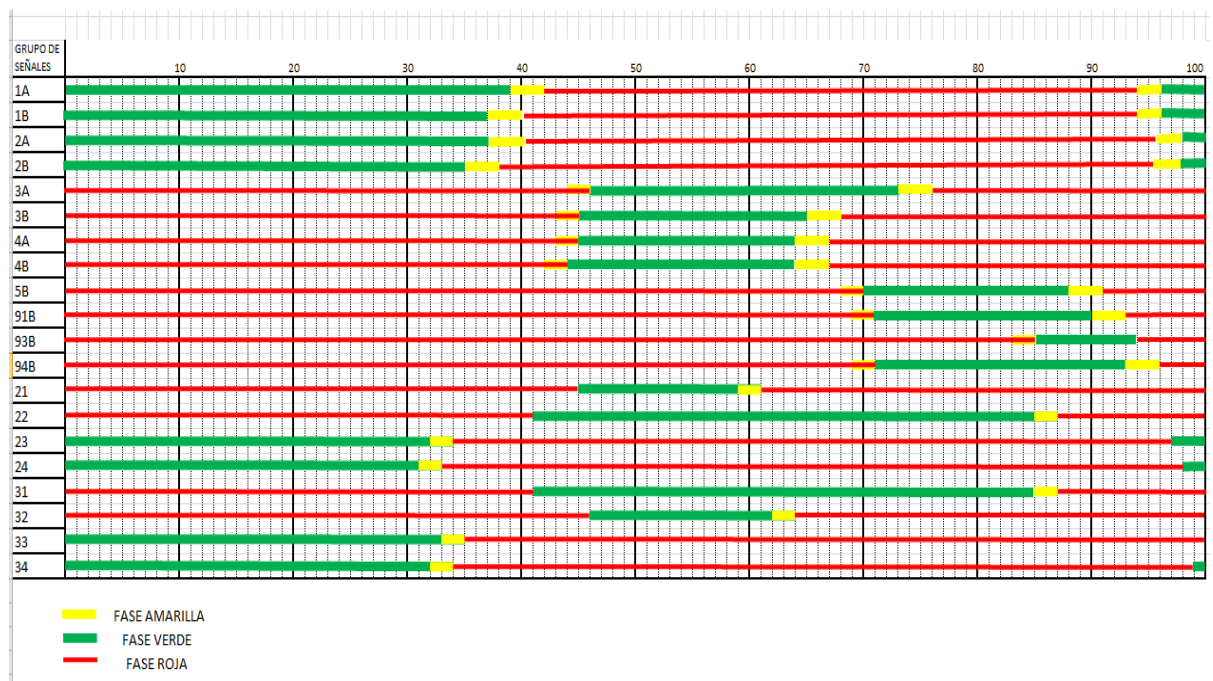
Nivel de servicio a partir de conteos con programación semaforal modificada		
Acceso Sur		NIVEL DE SERVICIO BASADO EN ESPACIO POR PEATÓN
Hora pico	3:30 - 4:30	
Flujo peatonal máximo	3030	
Peatones por segundo en el cruce	0,84	
Área de zona de espera en el cruce (m ²)	72,91	
Tiempo fase peatonal roja + amarilla (Sg).	56	
Peatones por fase roja + amarilla	47,1	
Espacio por peatón (m ²).	1,55	
Densidad peatonal (Peat/m ²)	0,34	
	243	

Fuente propia

Considerando que el espacio por peatón cambia de 0,67 m² a 1,55 m² y se encuentra entre 1,4 y 2,2 m², el nivel de servicio cambia de F a D según lo establecido en la Tabla 1 (Criterios de nivel de servicio para el flujo continuo).

La imagen 19 indica la programación final propuesta para el punto crítico en donde se observa que las otras fases semaforales de la intersección no se ven afectadas por estos cambios.

Imagen 20. Programación final



Fuente propia

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la intersección estudiada se presentan diferentes niveles de servicio considerando el espacio por peatón. Estos niveles de servicio varían desde “C” (acceso occidental) hasta “F” (acceso sur).
- Se determinó que el acceso sur es el que presenta mayor conflicto puesto que cuenta con un nivel de servicio “F” lo cual indica que es el punto crítico de la intersección.
- Los niveles de servicio basados en el criterio de demora peatonal muestran que ningún cruce cumple con un tiempo de demora moderado para el peatón, lo que confirma que en el diseño y planeación del transporte de la ciudad prima el medio de transporte (tiempos de viaje y costo de mantenimiento), por encima de los peatones.
- Las velocidades de caminata observadas en el punto crítico arrojan un nivel de servicio “E”. Las velocidades en este punto son mayores a la establecida en los manuales basados en la composición peatonal; lo anterior se debe al alto porcentaje de inseguridad que se presenta en la zona.
- El estudio determinó que la intersección presenta tiempos vehiculares inactivos dentro de su programación semaforal que pueden ser utilizados para mejorar los niveles de servicio peatonal.
- El semáforo 93 B está habilitado para giro exclusivo de Transmilenio hacia el sur, el estudio determinó que este giro se utiliza ocasionalmente.
- La señal vehicular sobre el acceso sur que prohíbe el giro a la derecha es infringida por un alto número de vehículos y esto, a su vez, ocasiona que el nivel de servicio sobre el cruce no sea el adecuado.
- La modelación propuesta no afecta el resto de la programación de los accesos sobre la intersección.
- Aplicando la programación propuesta en el siguiente estudio, el nivel de servicio sobre el punto crítico cambiaría de “F” a “D”

- Se recomienda una revisión de las fases semaforales de los cruces críticos del sistema Transmilenio porque se evidencia un mal uso de los tiempos de las fases semaforales, prestando un nivel de servicio bajo a los peatones.
- Se recomienda trasladar el giro 93 B y habilitarlo para giro de tráfico mixto con un tiempo de 9 segundos.
- Se recomienda realizar un ajuste en la programación semaforal peatonal en los semáforos 22 y 31 en horas pico sobre el acceso sur sincronizando ambos semáforos peatonales a 44 segundos.

9. BIBLIOGRAFÍA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTÁ. Manual de Planeación y Diseño para la Administración del tránsito y transporte. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, secretaría de tránsito y transporte. 2005

BOTERO GARCÍA, Tomás. Revisión y Re-diseño de la planeación semafórica de las intersecciones viales de la ciudad de Manizales, a partir de información básica existente. Trabajo de grado Especialista en vías y Transporte. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Especialización en vías y transporte, 2008. 134 h.

CAL Y MAYOR, Rafael y CARDENAS GRISALES, James. Ingeniería de Tránsito. México. 386 p.

DOIG GODIER, Jean Christian. Análisis del nivel de servicio peatonal en la ciudad de Lima. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú facultad de Ingeniería, 2010. 139 h.

I D. Cuevas. (2006). Verificación de criterios de semaforización desde el punto de vista peatonal. Universidad de los Andes, Bogotá. [En línea]. pp.1-9. Disponible en: http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/721/MI_ICYA_2004_038.pdf?sequence=1 Consultado Febrero 01 de 2014.

INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. Guía práctica de la movilidad peatonal urbana. Bogotá.