

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS Y DISEÑO GEOMÉTRICO A LA INTERSECCIÓN DE LA AV. 12 DE ABRIL Y UNIDAD NACIONAL

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

XAVIER EFRÉN ESPINOSA ESPINOSA

C.I. 1105678344

SEGUNDO HERIBERTO PIEDRA ARGUDO

C.I. 0104443866

DIRECTOR:

ING. JUAN MARCELO AVILES ORDOÑEZ MSc.

C.I. 0103872503

CUENCA - ECUADOR

2017



Resumen

El presente trabajo se enfoca en evaluar el desempeño de la intersección ubicada en la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional en la ciudad de Cuenca, esta intersección no es capaz de abastecer la creciente demanda, lo que conlleva a un déficit en el nivel de servicio. Como solución a este problema se propone realizar el análisis y rediseño de la intersección con el objetivo de reducir demoras y evitar el congestionamiento vehicular actual y dentro del periodo de diseño. La primera parte contempla la obtención de datos de campo, para lo cual se llevó a cabo aforos vehiculares y peatonales de la intersección, seguido del levantamiento topográfico y la medición de los ciclos semafóricos. Se usó además conteos automáticos proporcionados por el GAD municipal, e información suministrada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH). En una segunda etapa en base a los criterios expuestos en el capítulo de intersecciones señalizadas del Manual de Capacidad de Carreteras 2010 (HCM 2010), se calculan los niveles de servicio estableciendo el estado actual. La etapa final plantea dos alternativas de solución a los conflictos de movilidad en la intersección, concluyendo con la recomendación y prediseño de la alternativa que presentó el mejor desempeño técnico y ambiental para un periodo de diseño de 20 años.

Palabras Clave: HCM 2010, Intersecciones señalizadas, Niveles de servicio, Demoras.



Abstract

This study focuses on evaluating the current and proposed performance of the intersection located on 12 de Abril Ave. & Unidad Nacional Ave., in Cuenca Ecuador, since this intersection is not longer able to hold the traffic growth, which leads to a deficit in the level of service. A comprehensive analysis focusing on reducing delays and congestion is proposed. The first part contemplates field data gathering following standardized traffic and pedestrian count methodologies, also topographic surveys and traffic light's cycles measurements were made. Automatic counts provided by the municipality, and information provided by the "Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)" and by the "Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH)" were also used. In a second stage, based on the criteria detailed in the specific intersections' chapter from the Highway Capacity Manual (HCM 2010), the accurate levels of service were calculated, for the current state. Finally, the last part of this study poses two alternative solutions to the mobility problems at this intersection, the final solution includes recommendations and alternative design that presents the best technical and environmental performance for a 20-year design period.

Key Words: HCM 2010, Marked Intersections, Level of Service, Delays.



Contenido

Resumen	1
Abstract.....	2
Contenido	3
Índice de Figuras.....	5
Índice de Tablas	6
Cláusulas de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional	8
Cláusulas de propiedad intelectual.....	10
Dedicatorias	12
Agradecimientos.....	13
CAPÍTULO 1	14
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Antecedentes	14
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Alcance	15
CAPÍTULO 2	16
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Volumen, Demanda y Capacidad.....	16
2.2 Cálculo del TPDA.....	17
2.2.1 Proyecciones del Tráfico.....	18
2.3 Intersecciones señalizadas con semáforos	20
2.3.1 Generalidades de la metodología.....	20
2.3.2 Criterios de los niveles de servicio (LOS).....	23
2.3.3 Metodología de análisis operacional.....	24
2.4 Semaforización	41
2.4.1 Semáforos de tiempo fijo	41
2.4.2 Semáforos accionados por el tránsito.....	47
2.4.3 Sistemas computarizados de semáforos.....	49
2.5 Diseño Geométrico de Intersecciones	58
2.5.1 Composición de Tránsito	58



2.5.2	Criterios Generales para el Diseño de Intersecciones	59
2.5.3	Elementos Básicos de Diseño.....	60
CAPÍTULO 3		62
3.	ANÁLISIS DE TRÁNSITO Y SOSTENIBILIDAD	62
3.1	Detalle de los Aforos Vehiculares.....	62
3.1.1	Estaciones y Aforos	63
3.1.2	Formularios para Aforos.....	63
3.2	Levantamiento Topográfico	64
3.3	Procesamiento de la Información de los Aforos Vehiculares.....	66
3.3.1	Volumen de Tráfico.....	66
3.3.2	Giros en la Intersección.....	68
3.3.3	Zonificación de la Intersección.....	69
3.3.4	Aforos Peatonales.....	72
3.4	Cálculo del TPDA y sus Proyecciones.....	73
3.5	Evaluación de la situación actual del tránsito en la intersección incluyendo el nivel de servicio.....	75
3.6	Evaluación de las alternativas incluyendo la sostenibilidad.....	84
CAPÍTULO 4		94
1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	94
4.1	Comparación de la situación actual y de las alternativas planteadas	94
4.2	Análisis de Costos de la solución	97
4.3	Diseño Geométrico de la Mejor Alternativa.	98
CAPÍTULO 5		99
2.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
5.1	CONCLUSIONES.....	99
5.2	RECOMENDACIONES.....	100
3.	REFERENCIAS	102
4.	ANEXOS.....	103



Índice de Figuras

Figura 2.1. Tres enfoques de evaluación [1].	21
Figura 2.2. Movimientos y numeración del tráfico [1].	22
Figura 2.3. Asignación de fases y tipos de movimiento [1].	23
Figura 2.4. Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos. 24	
Figura 2. 5. Zonas de conflicto entre peatones y vehículos [1].	34
Figura 2.6. Diagrama de fases en una intersección con semáforos [2].	43
Figura 2.7. Esquema de intervalo de cambio de fase [2].	44
Figura 2.8. Modelo de flujo de saturación [8].	46
Figura 2.9. Vista general del programa Synchro 8 [9].	50
Figura 2.10. Ingreso de datos en Tritone [10].	52
Figura 2. 11. Esquema de intersección tipo cruz [3].	60
Figura 2.12. Visibilidad en una intersección [3].	61
Figura 3.1. Esquema de distribución de estaciones en la intersección.	62
Figura 3.2. Formato para aforos vehiculares.	63
Figura 3.3. Formato para aforos de giros.	63
Figura 3.4. Formato para aforo peatonal.	64
Figura 3.5. Estado actual de la Intersección.	65
Figura 3. 6. Fluctuación horaria del tráfico en la intersección.	67
Figura 3. 7. Zonificación de la Intersección.	69
Figura 3.8. Líneas de Deseo de la intersección.	71
Figura 3.9. Líneas de deseo del flujo peatonal.	72
Figura 3. 10. Ajuste lineal para determinación de constantes a y b.	74
Figura 3.11. Esquema de la situación actual de la intersección.	77
Figura 3.12. Esquema de la Alternativa 1.	86



Índice de Tablas

Tabla 2.1. Niveles de servicio LOS [1].	23
Tabla 2.2. Parámetros de entrada para el analizar los grupos de carriles [1].	25
Tabla 2. 3. Relación pelotón y tipo de llegadas [1].	27
Tabla 2. 4. Grupos de carriles y grupos de movimientos [1].	30
Tabla 2. 5. Valores recomendados de I para cada grupo de carriles [1].	39
Tabla 2.6. Automóviles directos equivalentes para vueltas a la izquierda EVI [2].	45
Tabla 2.7. Automóviles directos equivalentes para vueltas a la derecha EVD [2].	45
Tabla 2. 8. Clasificación de la seguridad vial en Tritone.	53
Tabla 2. 9. Componentes de un plan de sostenibilidad interno [12].	54
Tabla 2.10. Componentes de un sistema de gestión de mantenimiento MMS [12].	56
Tabla 2. 11. Características de vehículo de diseño [3].	59
Tabla 3.1. Composición de vehículos incluido bicicletas y motos.	66
Tabla 3. 2. Composición de vehículos sin bicicletas y motos.	66
Tabla 3.3. Composición de vehículos sin bicicletas y motos cada hora.	67
Tabla 3. 4. Factores calculados para el estudio.	68
Tabla 3.5. Matriz Origen – Destino (vehículos y porcentaje).	69
Tabla 3. 6. Aforos peatonales de la intersección.	72
Tabla 3.7. Cálculo de factores para determinar el TPDA.	73
Tabla 3.8. Tasa de crecimiento del parque automotor.	73
Tabla 3. 9. Ajuste de la tasa de saturación y constantes a y b.	74
Tabla 3.10. Tráfico observado (12 Horas).	74
Tabla 3. 11. Tráfico ajustado para el TPDA del año 2017.	75
Tabla 3.12. Parámetros de entrada para la evaluación de la condición actual.	78
Tabla 3.13. Matriz O-D proyectada al 2017 de la hora de máxima demanda (12H15-13H15).	79
Tabla 3.14. Cálculo de los módulos de análisis para la condición actual.	80
Tabla 3. 15. Progresión de las demoras y de los niveles de servicio.	81
Tabla 3.16. Resultados obtenidos en Synchro 8 [9].	81
Tabla 3.17. Resultados obtenidos en Tritone 17 [10].	82
Tabla 3.18. Resultados obtenidos en INVEST [12] para la alternativa 1.	83
Tabla 3.19. Cálculo de los tiempos del semáforo.	85
Tabla 3. 20. Parámetros de entrada para la alternativa 1.	87
Tabla 3.21. Cálculo de los módulos de análisis para la alternativa 1.	88
Tabla 3.22. Progresión de las demoras y de los niveles de servicio para la alternativa 1.	89
Tabla 3. 23. Resultados obtenidos en Synchro 8 [9] para la alternativa 1.	89
Tabla 3.24. Resultados obtenidos en Tritone 17 [10] para la alternativa 1.	90
Tabla 3. 25. Resultados obtenidos en INVEST [12] para las alternativa 1 y 2.	91
Tabla 3. 26. Resultados obtenidos en Synchro 8 [9] para la alternativa 2.	92
Tabla 3.27. Progresión de las demoras y de los niveles de servicio para la alternativa 2.	93
Tabla 4. 1. Comparación del estado actual y las alternativas.	95
Tabla 4. 2. Comparación de alternativas respecto al medio ambiente y a la seguridad.	96
Tabla 4.3. Presupuesto de la alternativa 2.	97



Abreviaturas y Simbologías

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

V/C: Relación Volumen – Capacidad.

LOS: Level Of Service (Nivel de servicio).

O/D: Matriz Origen - Destino

ARCH: Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials



Cláusulas de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Segundo Heriberto Piedra Argudo en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis y Diseño Geométrico a la Intersección de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de noviembre del 2017

Segundo Heriberto Piedra Argudo

C.I: 0104443866

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Xavier Efrén Espinosa Espinosa en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis y Diseño Geométrico a la Intersección de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de noviembre del 2017

A handwritten signature in blue ink, reading "Xavier Efrén Espinosa Espinosa", written over a horizontal line.

Xavier Efrén Espinosa Espinosa

C.I: 1105678344



Cláusulas de propiedad intelectual

Cláusula de Propiedad Intelectual

Segundo Heriberto Piedra Argudo, autor del trabajo de titulación “Análisis y Diseño Geométrico a la Intersección de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de noviembre del 2017

Segundo Heriberto Piedra Argudo

C.I: 0104443866



Cláusula de Propiedad Intelectual

Xavier Efrén Espinosa Espinosa, autor del trabajo de titulación “Análisis y Diseño Geométrico a la Intersección de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 20 de noviembre del 2017

Xavier Efrén Espinosa Espinosa

C.I: 1105678344



Dedicatorias

Este trabajo dedico en primer lugar a Dios, pues es él en quien siempre me he apoyado y he puesto mi vida en sus manos.

Así también dedico de manera muy especial a mis padres Fanny Argudo y Heriberto Piedra, que sin duda son un pilar fundamental en mi vida, quienes con sus sabios consejos han hecho de mí una persona de bien, apoyándome siempre en mis decisiones, enseñándome a superarme y nunca darme por vencido.

No podrían faltar aquí mis queridas hermanas: Karina, Lorena y Milena quienes son para mí un modelo de personas a seguir y en quienes siempre podré confiar.

También quiero dedicar este trabajo a mis queridos abuelos: Enrique (†) y Digna, Joaquín y Aida, que con mucho amor me enseñaron a soñar en alto y sobre todo hacer realidad mis sueños.

Finalmente quiero agradecer a todo el resto de mi familia, a mis tíos, primos y a todos mis amigos, en quienes siempre he visto un modelo de personas a seguir, a tratar de ser mejor siempre y luchar por mis sueños, gracias por compartir tantos momentos de alegrías y tristezas.

Heriberto Piedra

A la memoria de mi hermano Manuel Francisco Espinosa, con especial dedicación a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

Xavier Espinosa



Agradecimientos

Agradezco a mis padres por siempre ayudarme en mi vida, por sus sabios consejos y por siempre brindarme su hombro en mis momentos de debilidad.

Un agradecimiento muy especial para el Ing. Juan Avilés, por ser la guía en este trabajo, por compartir sus conocimientos y ser un amigo más en quien sin duda se puede contar.

De igual manera un agradecimiento a todos los profesores de la Facultad, quienes de manera desinteresada compartieron sus conocimientos y quienes han sido siempre un ejemplo de superación tanto en el campo profesional como personal.

A todos mis amigos con quienes se ha compartido momentos inolvidables en la vida universitaria, sobre todo quiero agradecer a un gran amigo, Xavier Espinosa, quien ha sido en todos estos años un amigo incondicional, con quien se pudo compartir muchas experiencias inolvidables, y con quien tuve la oportunidad de desarrollar este trabajo.

Muchas gracias a todos ustedes.

Heriberto Piedra

A todas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo, gracias por enseñarme, gracias por confiar en mí y gracias por hacerme crecer.

Xavier Espinosa



CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Ecuador en los últimos años ha tenido un importante avance en la construcción y mejoramiento de las vías de comunicación, significando un progreso económico, social y medioambiental, esto sin duda es un logro a nivel nacional, sin embargo; el acelerado crecimiento del parque automotor en los últimos años ha generado un grave problema de tránsito en varias de las intersecciones de la ciudad de Cuenca, siendo una de ellas la intersección de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional, donde se observa como un gran número de vehículos compiten por el uso del espacio dentro de esta intersección.

La mejor solución para afrontar este problema sería la construcción de más vías, las cuales cubrirían toda la demanda vehicular, o en el peor de los casos se debería restringir el crecimiento del parque automotor. Sin embargo, estas dos soluciones no son del todo prácticas puesto que a nivel urbano no hay el suficiente espacio para aumentar más carreteras y peor aún es muy complicado tener un control riguroso del crecimiento vehicular puesto que esto está de la mano con la comodidad y desarrollo de la población. Por esta razón, siempre es bueno buscar un balance entre la demanda existente y su capacidad para llegar una solución eficiente.

1.2 Justificación

Sin duda el congestionamiento vehicular es un grave problema, los diseños ineficientes, la falta de control de las vías, la falta de educación vial entre otros, producen que se aumenten los tiempos de demoras y la incomodidad en una intersección, quitando un valioso tiempo productivo a la ciudad y a sus habitantes. Así también, hay que tener en cuenta la cantidad de carbono que emiten los vehículos y los graves efectos contaminantes que producen hacia el medio ambiente y al resto de la sociedad.

Por ello, el presente trabajo pretende mejorar el nivel de servicio y los costos operacionales de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional. Para ello, se hará un estudio de tránsito y se plantearán dos alternativas de mejoras de la intersección, para así decidir cuál es más útil no solo desde el punto de vista de servicio sino además considerando otros factores como costos que implicaría la ejecución del proyecto y un análisis medio ambiental enfocado a la sostenibilidad; así también se realizará las modificaciones geométricas necesarias de su diseño, para lograr un mejoramiento de su nivel de servicio.



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar el estado actual de la intersección de la Av. 12 de Abril y Unidad Nacional para proponer alternativas de solución al tránsito, en base a las normativas vigentes.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar conteos vehiculares y peatonales de la intersección.
2. Realizar el levantamiento topográfico a detalle de la zona de estudio.
3. Determinar el nivel de servicio actual y las proyecciones a 20 años de la intersección.
4. Plantear dos alternativas para mejorar el nivel de servicio de la vía.
5. Analizar la sostenibilidad de cada una de las alternativas mediante el uso de los programas INVEST y Tritone 17.
6. Determinar el presupuesto de construcción de la alternativa escogida como solución al problema.
7. Elaborar los planos a nivel de prediseño de la alternativa escogida.

1.4 Alcance

El análisis de una intersección se basa en un proceso ordenado de actividades, partiendo de un estudio del estado actual de la intersección para constatar su nivel de servicio e identificar los principales problemas de tránsito y de esta forma plantear dos alternativas de posible solución, de las cuales se va escoger a la mejor de ellas basándose en el mejor nivel de servicio que se obtenga para el tiempo de diseño (20 años), su economía y cuán amigable sea con el medio ambiente; para así poder presentar un diseño geométrico definitivo, considerando elementos básicos de intersecciones como son: radios de giro, giros a la izquierda y derecha y veredas.

Para el presente trabajo se realiza el levantamiento topográfico a detalle de la zona de estudio y un conteo manual tanto de volúmenes, giros, peatones y ciclistas durante un lapso de 12 horas continuas, para validar esta información es necesario el conteo automático proporcionado por la Municipalidad de Cuenca. La metodología que sigue este trabajo se basa en el Highway Capacity Manual en su edición 2010 (HCM 2010) [1], con la cual se obtiene el nivel de servicio y la capacidad de la intersección.



CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la información necesaria que se debe conocer previo al desarrollo del trabajo. Primero se exponen los conceptos referentes a volumen demanda y capacidad para luego calcular el TPDA; así también se analiza la metodología propuesta en el HCM 2010 referente a intersecciones semaforizadas. Finalmente se desarrollan los conceptos relacionados a la semaforización y el diseño geométrico de intersecciones. El desglose de este capítulo introductorio de conceptos es:

- Volumen, Demanda y Capacidad
- Calculo del TPDA
- Intersecciones señalizadas con semáforos
- Semaforización
- Diseño Geométrico de Intersecciones

2.1 Volumen, Demanda y Capacidad

Se debe considerar que los flujos vehiculares que llegan a la intersección varían de acuerdo con cada tramo de vía, por lo tanto, se debe considerar el análisis del volumen y la capacidad en forma individual de cada acceso de la intersección.

Volumen o Demanda.

Se considera al volumen o demanda como el número de vehículos o personas que circulan por una vía en un intervalo de tiempo determinado [2].

Capacidad.

Se define como el número máximo de vehículos que pueden llegar a pasar por una vía en un intervalo de tiempo determinado, sin producir conflictos [2].

Relación Volumen – Capacidad.

Una corriente de tránsito funciona aceptablemente bien cuando la magnitud del flujo, circulando a una velocidad razonable, es menor que la capacidad del sistema; en otras palabras, cuando el sistema tiene la suficiente capacidad (oferta) para alojar el flujo vehicular presente (demanda), sin demoras excesivas para los usuarios. Igualmente, se establece que cuando los valores de los flujos vehiculares están muy próximos a los de la capacidad, el tránsito se torna inestable y la congestión se hace presente. Más aún, los flujos vehiculares inferiores a la capacidad, que circulan a velocidades bajas y densidades altas, presentan condiciones de operación forzada, que incluso pueden llegar a detenciones momentáneas del tránsito, produciendo niveles bajos de operación [2].



Para determinar los niveles de servicio de operación del sistema vial, se determina la relación Volumen-Capacidad (V/C), en la cual se pueden presentar tres posibilidades [2]:

- Si la relación es menor a 1 ($V/C < 1$), el sistema vial no está colapsado.
- Si la relación es igual a 1 ($V/C = 1$), el sistema vial está al límite y,
- Si la relación es mayor a 1 ($V/C > 1$), el sistema vial está saturado.

2.2 Cálculo del TPDA

El Tránsito Promedio Diario Anual se abrevia con las letras TPDA y representa el tránsito total que circula por la carretera durante un año dividido por 365, o sea que es el volumen de tránsito promedio por día [3]. Este sirve para determinar el tipo de vía de acuerdo a la normativa NEVI-12 [3], así también se utiliza en las proyecciones del flujo vehicular para determinar el nivel de servicio. El TPDA se expresa con la ecuación (2-1):

$$TPDA = TO \times Fh \times Fd \times Fs \times Fm \quad (2 - 1)$$

donde:

TO = Tráfico promedio calculado en un conteo por un día.

Fh, Fd, Fs, Fm = Factor horario, diario, semanal y mensual respectivamente, detallado a continuación [2]:

- *Factor horario (Fh)*: Equivale a la relación entre el tráfico total del conteo automático del mismo día en que se realizó el conteo manual (proporcionado por el Municipio de Cuenca), para la sumatoria del conteo automático en las 12 horas del conteo manual.
- *Factor diario (Fd)*: Se obtiene dividiendo el promedio diario semanal del tráfico automático, para el tráfico total del día calendario al cual corresponde el conteo manual.
- *Factor semanal (Fs)*: Se calcula dividiendo el número de días de cada mes para 28 (correspondiente al número de días del mes de febrero como unidad).
- *Factor mensual (Fm)*: Corresponde al consumo de combustible del año más cercano al conteo realizado para el consumo de combustibles del mes en el que se realizó el conteo manual. Estos datos fueron obtenidos en la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) y corresponden al año 2017.



2.2.1 Proyecciones del Tráfico

Luego de tener calculado el TPDA del año de estudio, lo que sigue es hacer las proyecciones de éste por un lapso de 20 años y con ello se tendrán los correspondientes niveles de servicio y sus tiempos de demoras.

Para esto lo que se utiliza es un modelo logístico, el cual se basa en obtener una tasa de crecimiento del parque automotor con una relación entre la estadística de la población y la matriculación de vehículos [4].

Mediante el modelo logístico se encuentran las diferentes tasas de crecimiento. El modelo logístico se basa en la tasa de motorización (T_m), que significa cuántos vehículos por cada mil habitantes tiene la ciudad en un año k en particular, con los datos de T_m se determina una tasa de saturación (T_s) con la Ecuación (2-2) [4]:

$$T_m = \frac{T_s}{1 + e^{(a+bt)}} \quad (2 - 2)$$

donde:

- T_m = Tasa de motorización para un año k (vehículos/1000 habitantes)
- T_s = Tasa de saturación (vehículos/1000 habitantes)
- e = Base del logaritmo natural
- a, b = Constantes a determinar
- t = Tiempo de proyección

Con la utilización de logaritmos, la Ecuación (2-2) se transforma en la Ecuación (2-3):

$$Y = a + b * t = \ln\left(\frac{T_s}{T_m} - 1\right) \quad (2 - 3)$$

La Ecuación (2-3) tiene 3 incógnitas, las cuales se pueden obtener mediante un ajuste lineal, T_s se debe iterar hasta que el valor de R^2 sea más cercano a 1.

Con la información de la población urbana de la ciudad de Cuenca y con los registros del parque automotor de vehículos livianos existentes desde el año 1969 hasta el 2016, se realiza el ajuste de la curva logística para determinar el parque automotor del año k , con el valor T_m ajustado [4].

2.2.1.1 Ajuste para Vehículos Livianos

El ajuste del tráfico para los vehículos livianos en un periodo n , se puede obtener a partir de la Ecuación (2-4); así también, su respectiva tasa de crecimiento se puede ajustar con la Ecuación (2-5) [4]:

$$T_{FL} = \frac{T_m(\text{Poblacion en el año } i)}{1000} \quad (2 - 4)$$



$$i = \sqrt[n]{\frac{T_F}{T_A}} - 1 \quad (2 - 5)$$

donde:

- T_{FL} = Tráfico futuro de vehículos livianos
- T_m = Tasa de motorización para un año k
- T_A = Tráfico actual de vehículos livianos
- i = Tasa de crecimiento (o de motorización) de vehículos livianos
- n = Periodo de tiempo

2.2.1.2 Ajuste para Buses y Camiones

El crecimiento de buses y camiones será directamente proporcional al crecimiento poblacional, y el ajuste hecho anteriormente servirá solo para vehículos livianos. La población futura estimada para un año determinado se obtiene a partir de la población actual, mediante las Ecuaciones (2-6) y (2-7) [4]:

$$i = \sqrt[n]{\frac{P_F}{P_A}} - 1 \quad (2 - 6)$$

$$P_F = P_A[1 + r]^n \quad (2 - 7)$$

en donde:

- P_F = Población futura
- P_A = Población actual
- i = Tasa de crecimiento poblacional
- n = Número de años

Una vez obtenido el índice de crecimiento poblacional se proyecta el tráfico de vehículos pesados empleando la Ecuación (2-8).

$$T_{FP} = T_A[1 + i]^n \quad (2 - 8)$$

donde:

- T_{FP} = Tráfico futuro de vehículos pesados
- T_A = Tráfico actual de vehículos pesados
- i = Tasa de crecimiento de la población
- n = Número de años



2.3 Intersecciones señalizadas con semáforos

En el capítulo 18 del Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) [1] se describe la metodología para determinar la capacidad y el nivel de servicio (LOS) de intersecciones señalizadas con semáforos. Incluye un conjunto de medidas del rendimiento que detallan el funcionamiento de la intersección para diversos modos de viaje. A partir de estas medidas se identifican los problemas y se plantean estrategias para mejorarlos.

2.3.1 Generalidades de la metodología

El método se aplica a intersecciones de tres y cuatro brazos donde la señalización funciona aisladamente de intersecciones cercanas, si corriente arriba del punto de estudio existe una intersección señalizada esto se verá influenciado por la estructura del pelotón y por la uniformidad de las llegadas.

Límites del análisis

Generalmente, no se definen los límites de análisis a una distancia fija, sino que se prolonga hacia atrás de la línea de parada una longitud suficiente para incluir el área de influencia operacional en cada brazo de la intersección. Es por esto, que los límites deben establecerse para cada caso de estudio, de acuerdo con las condiciones específicas de cada intersección. El área de influencia mínima debe ser de 250 pies (76.20 m) por detrás de la línea de parada [1].

Nivel de análisis

Mediante esta metodología se puede describir tres tipos de niveles análisis los cuales son:

Análisis operacional: Es una aplicación dirigida hacia condiciones existentes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos controladores [2]. Se aplica principalmente cuando se necesita evaluar y aplicar mejoras de bajo costo y a mediano plazo tales como: modificaciones en el uso de carriles, cambios en los ciclos semafóricos, etc.

Análisis de diseño: En este nivel de análisis considera que el sistema vial nuevo o modificado pueda funcionar a un nivel de servicio deseado tal como B o C [2], para lograr el efecto se establecen características físicas necesarias tales como: el número mínimo de carriles, pendientes, ancho de carriles, etc.

Análisis de planificación: Está encaminado a la planeación de sistemas viales a largo plazo cuando los detalles de la demanda del tránsito son inciertos y es necesario utilizar valores por defecto [2]. Un ejemplo de este nivel de análisis sería el pronosticar cuál será el nivel de servicio de un sistema vial “n” años después.

Periodo de estudio y periodo de análisis

El periodo de estudio corresponde al intervalo de tiempo en el cual se evalúa el desempeño de la intersección durante uno o más periodos de análisis consecutivos.

Mediante la metodología se establece que las condiciones de tráfico son constantes para todo el periodo de análisis el mismo que varía entre 0.25 y 1 h. Se debe tener cuidado en usar periodos de análisis mayores 1 h ya que las condiciones de tráfico se vuelven inestables durante largos periodos de tiempo y los picos cortos no pueden ser detectados.

En la Figura 2.1 se muestran tres enfoques de evaluación; comúnmente el enfoque A es el más utilizado y se fundamenta en la evaluación del periodo máximo de análisis de 15 minutos durante el periodo de estudio de 1 h. La tasa de flujo horaria (veh/h), se puede obtener dividiendo la demanda de tráfico de 1 h para el factor horario de máxima demanda, o multiplicando el conteo máximo de trafico de 15 minutos por cuatro [1].

El enfoque B evalúa un periodo de análisis de 1 hora que es igual al periodo de estudio, en este caso no se utiliza el factor horario de máxima demanda por lo cual la tasa de flujo horaria (veh/h), es la misma que la demanda de 1 hora. En este enfoque se supone que la tasa de flujo es constante, eliminando así los picos que pueden subvalorar el retraso real.

El enfoque C evalúa un periodo de estudio de 1 hora y lo separa en periodos de análisis de 15 minutos. Este enfoque permite diferenciar la variación de los flujos entre los distintos periodos de análisis y obtener una abstracción más precisa del retardo.

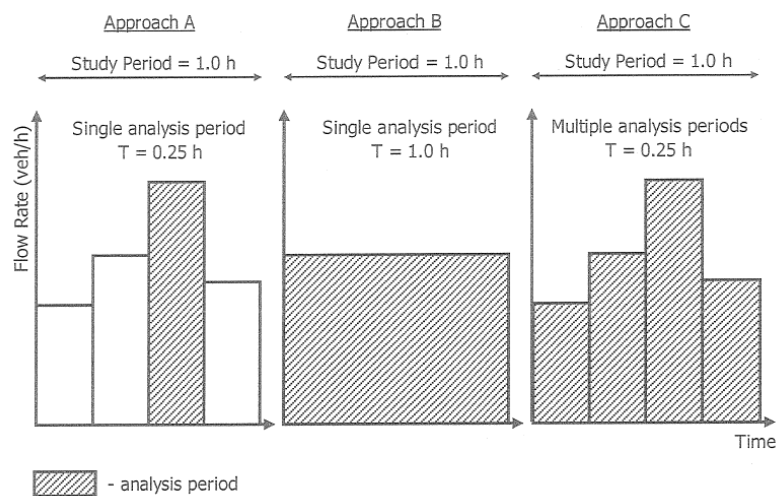


Figura 2.1. Tres enfoques de evaluación [1].

Modos de Viaje

Para evaluar el desempeño de la intersección se utiliza la metodología del automóvil comúnmente conocida como el “Modo automóvil”, la cual se refiere a los viajes de vehículos motorizados (automóviles, motocicletas, buses y camiones).

El modo automóvil evalúa el desempeño de un carril, de un grupo de carriles, de una entrada a la intersección y de toda la intersección. En general, un grupo de carriles puede servir exclusivamente para un movimiento o puede tener dos o más movimientos. Los grupos de movimientos pueden ser de giros exclusivos o grupos de movimientos directos con giros compartidos.

En la Figura 2.2 se muestra la numeración y el tipo movimiento de vehículos y peatones a los cuales se les asigna un número o una combinación de números y letras; la letra P significa un movimiento peatonal [1].

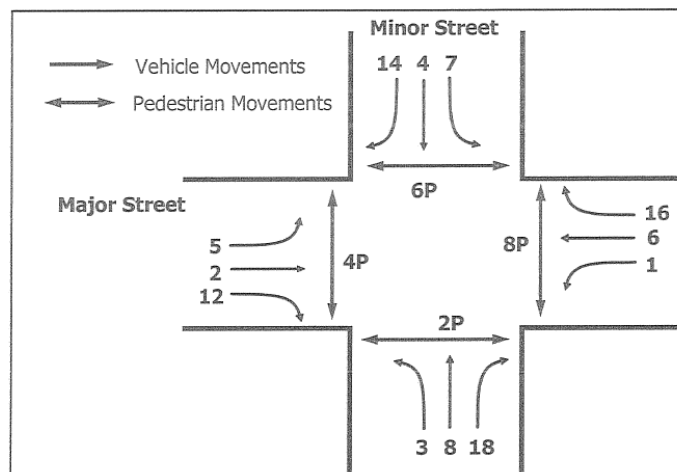


Figura 2.2. Movimientos y numeración del tráfico [1].

Las fases semafóricas están distribuidas para uno o más movimientos que no entran en conflicto entre sí, están representadas por el símbolo ϕ junto con un número que es el número de la fase. En la Figura 2.3 se observa las fases y los tipos que movimientos que pueden ser permitidos o protegidos. A los movimientos “protegidos” se les asigna una fase exclusiva ya que son prioritarios y están representados por una línea continua; los movimientos “permitidos” son aquellos que pueden ser completados sólo cuando los movimientos en conflicto ceden el paso, están representados por una línea discontinua [1].

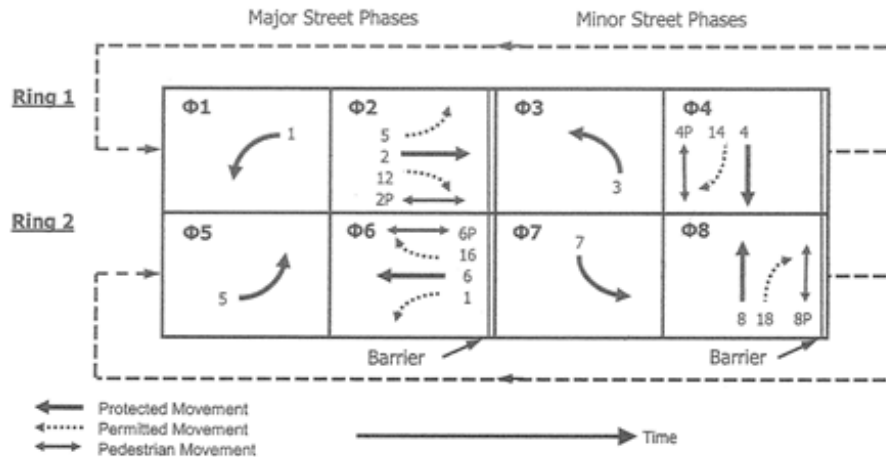


Figura 2.3. Asignación de fases y tipos de movimiento [1].

2.3.2 Criterios de los niveles de servicio (LOS)

Los niveles de servicio LOS están fundamentados en medidas de desempeño de la intersección las cuales son: la relación volumen-capacidad y las demoras experimentadas por los vehículos.

El modo automóvil calcula los niveles de servicio LOS para toda la intersección, para cada brazo y para cada grupo de carriles. Las relaciones volumen capacidad y las demoras de control que se muestran en la Tabla 2.1 caracterizan los niveles de servicio LOS. Las demoras cuantifican el tiempo perdido de viaje, la incomodidad del conductor y el consumo de combustible; y la relación volumen-capacidad se traduce al grado de suficiencia de una fase para servir a un grupo de carriles.

Tabla 2.1. Niveles de servicio LOS [1].

Demoras (seg/veh)	Relación volumen-capacidad	
	≤ 1.0	> 1
<10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

2.3.3 Metodología de análisis operacional

El análisis operacional es un proceso que requiere de varios parámetros de entrada y de una serie de cálculos básicos cuyo principal objetivo es la obtención de los niveles de servicio LOS; el esquema metodológico a seguir se muestra en la Figura 2.4 y en las siguientes secciones se describe a profundidad el proceso correspondiente.



Figura 2.4. Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos.

2.3.3.1 Parámetros de entrada “Modo automóvil”

En la Tabla 2.2 se muestra un resumen de la información de los parámetros de entrada para realizar un análisis operacional de cada grupo de carriles.

Condiciones geométricas

Tipo de área: El tipo de área en una intersección determina si esta se encuentra dentro de un distrito central de negocios (CBD) o en una zona residencial, se utiliza en áreas donde el flujo de tráfico tiene variaciones significativas durante el día.

Número de carriles, N: Es el número de carriles asignado a cada movimiento de tráfico, los carriles que comparten 2 o más movimientos de tráfico se denominan carriles compartidos.



Ancho promedio de los carriles, $W(m)$: Es el ancho promedio de los carriles que comparte un grupo de movimientos, el ancho mínimo de un carril es de 2.44 metros, aunque es recomendable usar un ancho estándar de 3.66 metros.

Pendiente, $G (%)$: Es la pendiente promedio de cada acceso de la intersección la misma que debe ser medida 30 metros por detrás de la línea de pare y en dirección paralela al flujo vehicular. La pendiente es positiva cuando es descendente y negativa cuando es ascendente.

Existencia de carriles exclusivos, LT o RT: Se refiere a la existencia de carriles exclusivos de giro a la izquierda o a la derecha en cada acceso de la intersección.

Longitud de bahías de giro, LT o RT, $L_s (m)$: Es la longitud de la bahía en la cual los carriles tienen el ancho necesario para que los vehículos se puedan almacenar, el tramo “ L_s ”, debe ser medido de forma paralela al eje de la vía.

Estacionamientos: Es un indicador de la existencia de aparcamientos en un grupo de movimientos a lo largo del bordillo, en una longitud igual a 80 metros detrás de la línea de parada.

Tabla 2.2. Parámetros de entrada para el analizar los grupos de carriles [1].

Tipo de condición	Parámetro
Geométricas	Tipo de área
	Número de carriles, N
	Ancho promedio de los carriles, $W (m)$
	Pendiente, $G (%)$
	Existencia de carriles exclusivos, LT o RT
	Longitud de bahías, LT o RT, $L_s (m)$
	Estacionamientos
Tránsito	Volumen de demanda por movimiento, $V (veh/h)$
	Tasa de flujo de saturación base, $S_o (vehículos livianos/h/carril)$
	Factor de la hora de máxima demanda, FHMD
	Porcentaje de vehículos pesados, HV (%)
	Tasa de flujo peatonal en el acceso, $v_{ped} (peatones/h)$
	Autobuses locales que paran en la intersección, $N_b (autobuses/h)$
	Actividades de estacionamiento, $N_m (maniobras/h)$
	Tipo de llegadas, AT
	Relación de pelotón, R_p
	Velocidad de aproximación, $S_A (Km/h)$
Semáforos	Longitud del ciclo, $C (s)$
	Tiempo verde, $G (s)$
	Amarillo + Todo rojo, $Y (s)$
	Operación accionada o prefijada
	Verde mínimo peatonal, $G_p (s)$
	Plan de fases



Condiciones del tránsito

Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h): Es el conteo de vehículos que llegan a cada brazo de la intersección durante el periodo de análisis dividido para la duración del mismo.

Tasa de flujo de saturación base, S_0 (vehículos livianos/h/carril): Es el máximo flujo que puede circular por un carril durante la fase de verde, “ S_0 ” representa el flujo para un carril con las siguientes condiciones: ancho de carril de 3.66 m, no existe circulación de vehículos pesados ni autobuses, tiene una pendiente del 0%, no hay la presencia de estacionamientos y no hay vehículos girando. Según el HCM 2010 [1] este valor es de 1900 vehículos livianos/h/carril.

Factor de la hora de máxima demanda, $FHMD$: Se calcula con la Ecuación (2-9).

$$FHMD = \frac{V_{60}}{V_{15}} \quad (2 - 9)$$

con:

$FHMD$ = Factor horario de máxima demanda

V_{60} = Conteo de vehículos durante la hora de máxima demanda (veh/h)

V_{15} = Conteo de vehículos durante un periodo pico de 15 minutos (veh/h)

Se usa un único factor horario de máxima demanda para toda la intersección, con el objetivo de crear un panorama en donde no existan volúmenes conflictivos, que sean desproporcionados con los volúmenes reales durante el periodo de análisis de 15 minutos. Los valores para $FHMD$ oscilan entre 0,80 y 0,95.

Porcentaje de vehículos pesados, HV (%): Un vehículo pesado es aquel que tiene más de cuatro neumáticos tocando la calzada, en esta clasificación no están los autobuses; el porcentaje de vehículos pesados se obtiene del cociente entre el conteo de vehículos pesados durante el periodo de estudio, para el conteo total de vehículos en el mismo periodo.

Tasa de flujo peatonal en el acceso, v_{ped} (peatones/h): La tasa de flujo peatonal es el conteo de peatones que tienen conflicto con vehículos que giran a la derecha en una fase de verde permitida durante un periodo de análisis de 1 hora.

Autobuses locales que paran en la intersección, N_b (autobuses/h): Es el número de autobuses que se detienen y obstaculizan el tráfico de un grupo de movimientos dentro de los 80 metros detrás de la línea de parada. Si existen más de 250 autobuses/h se debe adoptar este valor como el límite práctico. El conteo de buses se divide para la duración del periodo de análisis para obtener una tasa de flujo horaria.

Actividades de estacionamiento, N_m (maniobras/h): Es el conteo de maniobras de estacionamiento dentro de los 80 metros detrás de la línea de parada. Si existen más de 180 maniobras/h se debe adoptar este valor como el límite práctico. El conteo de



maniobras se divide para la duración del periodo de análisis para obtener una tasa de flujo horaria.

Tipo de llegadas, AT y Relación de pelotón, Rp: El tipo de llegadas y la relación de pelotón describen la calidad de la progresión del flujo para un grupo de movimientos. La relación de pelotón se calcula mediante la Ecuación (2-10).

$$R_p = \frac{P}{\left(\frac{g}{C}\right)} \quad (2 - 10)$$

donde:

- R_p = Relación de pelotón
- P = Proporción de vehículos que llegan durante la indicación verde
- g = Tiempo de verde efectivo (s)
- C = Longitud del ciclo (s)

Si las variables de la Ecuación (2-10) no se conocen a partir de datos de campo se puede utilizar la Tabla 2.3 para estimar la relación de pelotón utilizando la descripción de los siguientes tipos de llegadas:

Tabla 2. 3. Relación pelotón y tipo de llegadas [1].

Relación de Pelotón	Tipo de Llegada	Calidad de progresión
0.33	1	Muy mala
0.67	2	Desfavorable
1.00	3	Llegadas aleatorias
1.33	4	Favorable
1.67	5	Muy favorable
2.00	6	Excepcionalmente favorable

Tipo 1: Es un pelotón denso con más del 80% del volumen del grupo de movimiento que llegan al inicio del rojo. Para este caso la calidad de la progresión es muy mala.

Tipo 2: Es un pelotón moderadamente denso con un volumen entre el 40% a 80% del grupo de movimiento que llegan a la mitad del rojo. Para este caso la calidad de la progresión es desfavorable.

Tipo 3: Este tipo de llegadas describe dos condiciones; si los semáforos están coordinados entonces el pelotón contiene menos del 40% del volumen del grupo de movimiento que llegan durante el rojo y parcialmente durante el verde. Si las señales no están coordinadas las llegadas se producen en diferentes puntos de la fase de manera aleatoria.

Tipo 4: Es un pelotón moderadamente denso con un volumen entre el 40% a 80% del grupo de movimiento que llegan a la mitad del verde. Para este caso la calidad de la progresión es favorable.



Tipo 5: Es un pelotón denso con un volumen de más del 80% del grupo de movimiento que llegan al inicio del verde. Para este caso la calidad de la progresión es muy favorable.

Tipo 6: Es un pelotón denso con un volumen de más del 80% del grupo de movimiento que llegan al inicio del verde y se usa para segmentos cortos en un solo sentido. Para este caso la calidad de la progresión es excepcionalmente favorable.

Velocidad de aproximación, SA (Km/h): Corresponde al límite de velocidad permitido en los accesos de la intersección, lo que determina la facilidad de maniobras de los conductores y el rendimiento de la intersección.

Condiciones de los semáforos

En esta sección se describen los datos para las condiciones de semáforos enumerados en la Tabla 2.2, los parámetros de entrada son específicos para semáforos preprogramados y se describen a continuación.

Longitud del ciclo, C (s): Es el tiempo transcurrido en el cual el semáforo hace una secuencia completa de todas las indicaciones posibles.

Tiempo verde, G (s): Es el intervalo de tiempo en el cual los vehículos tienen el derecho de paso y la indicación mostrada es de color verde.

Amarillo + Todo rojo, Y (s): El amarillo es el intervalo de tiempo en el cual los vehículos deben tener precaución ya que se va a pasar a la siguiente fase, el todo rojo es un intervalo de tiempo que va a continuación del amarillo y sirve para despejar totalmente la intersección, con el fin de dar un tiempo adicional a los vehículos que perdieron el derecho al paso de salir, antes de que los vehículos que lo ganan reciban el verde.

Operación accionada o prefijada: Se refiere al tipo de operación del semáforo, la misma que puede ser de tiempo fijo o puede variar en función de las fluctuaciones del tráfico.

Verde mínimo peatonal, Gp (s): En algunos casos existen requerimientos del tiempo de verde mínimo para el cruce de peatones y se calcula mediante la Ecuación (2-11) [5].

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + \left(2.70 * \frac{N_{ped}}{WE} \right) \text{ para } WE > 3.0m$$

$$G_p = 3.2 + \frac{L}{S_p} + (0.27 * N_{ped}) \text{ para } WE \leq 3.0m \quad (2 - 11)$$

en donde:

- G_p = Tiempo mínimo de verde (s)
- L = Longitud del cruce peatonal (m)
- S_p = Velocidad media del peatón (1.2 m/s)
- WE = Ancho del cruce peatonal (m)
- N_{ped} = Número de peatones que cruzan durante un intervalo (peatones)



Plan de fases: Se refiere al número de fases necesarias para garantizar una adecuada circulación vehicular sin generar conflictos en la intersección.

2.3.3.2 Agrupación de carriles y tasas de flujo de demanda

Grupos de movimientos y grupos de carriles

Un grupo de carriles es la unión de un conjunto de carriles que a su vez carga un grupo de movimientos de flujos vehiculares. Los grupos de carriles sirven para realizar los cálculos asociados con la metodología mientras que los grupos de movimientos indican los parámetros de entrada. A continuación, se indican las reglas a seguir para determinar los grupos de movimientos:

- Un grupo de movimiento es aquel que es servido por uno o más carriles exclusivos de giro izquierdo o derecho.
- Un grupo de movimientos diferente a la designación anterior debe ser combinado en un solo grupo de movimientos.

Cuando hay carriles de giro izquierdo o derecho compartidos con movimientos directos se debe precisar si efectivamente funciona como un grupo de carriles exclusivos de giro o si se debe considerar como un grupo de carriles simple. Para este efecto se debe calcular la proporción de vueltas a la izquierda o a la derecha mediante la Ecuación (2-12); si la proporción es mayor o igual a 1 se debe considerar como un carril o carriles exclusivos de giro caso contrario se supondrá que es un grupo de carriles simple.

$$\frac{V_{i,d}}{V_a - V_{i,d}} \geq 1 \quad (2-12)$$

donde:

- $V_{i,d}$ = Volumen de giros a la izquierda o a la derecha (veh/h)
- V_a = Volumen total del acceso (veh/h)
- N = Número de carriles del acceso

Los grupos de carriles resultan de las siguientes posibilidades:

- Carriles exclusivos de giro a la izquierda o a la derecha son considerados como un grupo de carriles.
- Carriles compartidos deben considerarse como un grupo de carriles.
- Cualquier carril que no esté considerado en las designaciones anteriores debe considerarse como un grupo de carriles por separado.

Las posibles combinaciones de grupos de carriles y grupos de movimientos se muestran en la Tabla 2.4.



Tabla 2. 4. Grupos de carriles y grupos de movimientos [1].

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2: LG 3:

Tasas de flujo de demanda

A cada grupo de movimientos se le asigna un flujo vehicular y se realiza un ajuste con el FHMD a través de la Ecuación (2-13), posteriormente se realiza una distribución de los flujos vehiculares para cada grupo de carriles en el caso que el carril sea compartido, tomando en cuenta situaciones en las cuales los conductores optan por elegir un carril con menos volumen de tráfico; si el grupo de carriles contiene un solo carril el flujo vehicular será el mismo que se le asignó al grupo de movimientos.

$$V_p = \frac{V}{FHMD} \quad (2 - 13)$$

donde:

- V_p = Tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados (veh/h)
- V = Volumen horario (veh/h)
- $FHMD$ = Factor horario de máxima demanda

2.3.3.3 Tasa de flujo de saturación

La tasa de flujo de saturación es la máxima tasa de flujo que puede pasar por un grupo de carriles bajo condiciones como: la composición vehicular (automóviles, camiones y buses), paradas de buses, conflictos con peatones, ancho de los carriles, pendientes de acceso, fases semafóricas, entre otras. La tasa de flujo de saturación se calcula mediante la Ecuación (2-14).



$$s_i = s_o N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (2 - 14)$$

en donde:

- s_i = Tasa de flujo de saturación ajustado del grupo de carriles i (veh/h/carril)
- s_o = Tasa de flujo de saturación base por carril (veh/h/carril)
- N = Número de carriles del grupo de carriles
- f_w = Factor de ajuste por ancho de carril
- f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados
- f_g = Factor de ajuste por pendiente del acceso
- f_p = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles
- f_{bb} = Factor de ajuste por bloqueo de buses
- f_a = Factor de ajuste por tipo de área
- f_{LU} = Factor de ajuste por utilización del carril
- f_{LT} = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda
- f_{RT} = Factor de ajuste por vueltas a la derecha
- f_{Lpb} = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la izquierda
- f_{Rpb} = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la derecha

Factor de ajuste por ancho de carril: El factor de ajuste por ancho de carril cuantifica el efecto del ancho del carril en la tasa de flujo de saturación y se calcula mediante la Ecuación (2-15).

$$f_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9} \quad (2 - 15)$$

con:

- f_w = Factor de ajuste por ancho de carril
- W = Ancho del carril (m)

Factor de ajuste por vehículos pesados: El factor de ajuste por vehículos pesados establece la diferencia en las capacidades operativas en comparación con los vehículos livianos y se calcula mediante la Ecuación (2-16).

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (2 - 16)$$

donde:

- f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados
- P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados del grupo
- E_T = Número equivalente de vehículos livianos por cada vehículo pesado
($E_T = 2 \text{ veh/pesado}$) [5]

Factor de ajuste por pendiente del acceso: El factor de ajuste por pendiente del acceso interpreta los efectos de la gradiente en el rendimiento del vehículo y se calcula mediante la Ecuación (2-17).

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (2 - 17)$$

en donde:



- f_g = Factor de ajuste por pendiente del acceso
 P_g = Pendiente de aproximación del grupo de movimiento ($-6 \leq P_g \leq +10$)

Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles: El factor de ajuste por estacionamiento, cuantifica el efecto del bloqueo ocasional de un carril por los vehículos que entran y salen de los estacionamientos. Si el carril adyacente no tiene estacionamientos $f_p = 1$, caso contrario se calcula mediante la Ecuación (2-18).

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18 * N_m}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (2 - 18)$$

donde:

- f_p = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles
 N_m = Número de maniobras de estacionamiento por hora
 N = Número de carriles del grupo

Factor de ajuste por bloqueo de buses: El factor de ajuste por bloqueo de buses, explica el efecto de las paradas de autobuses locales que se detienen para recoger o dejar pasajeros 80 metros por detrás de la línea de parada y se calcula mediante la Ecuación (2-19).

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (2 - 19)$$

con:

- f_{bb} = Factor de ajuste por bloqueo de buses
 N_b = Número de buses que paran en el grupo de carriles por hora
 N = Número de carriles del grupo

Factor de ajuste por tipo de área: El factor de ajuste por el tipo de área demuestra la ineficiencia de intersecciones dentro de distritos centrales de negocios (CBD) es decir que cuando la intersección está dentro de un "CBD", $f_a = 0.90$ caso contrario $f_a = 1.00$.

Factor de ajuste por utilización del carril: El factor de ajuste por utilización del carril cuantifica el efecto de la distribución no uniforme del tráfico y se calcula mediante la Ecuación (2-20).

$$f_{Lu} = \frac{v_g}{N_e v_{g1}} \quad (2 - 20)$$

donde:

- f_{Lu} = Factor de ajuste por utilización del carril
 v_g = Tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril (veh/h)
 v_{g1} = Tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo (veh/h)
 N_e = Número de carriles del grupo



Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: El factor de ajuste por vueltas a la izquierda explica el efecto de la geometría de un giro a la izquierda sobre la tasa de flujo de saturación. Si se trata de un carril exclusivo de giro a la izquierda $f_{LT} = 0.95$, caso contrario si es un carril compartido se calcula mediante la Ecuación (2-21).

$$f_{LT} = \frac{1}{1.0 - 0.05P_{LT}} \quad (2 - 21)$$

donde:

f_{LT} = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda
 P_{LT} = Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles

Factor de ajuste por vueltas a la derecha: El factor de ajuste por vueltas a la derecha establece el efecto de la geometría de un giro a la derecha sobre la tasa de flujo de saturación. Si se trata de un carril exclusivo de giro a la derecha $f_{RT} = 0.85$, si es un carril compartido se calcula mediante la Ecuación (2-22) y si es un carril simple se calcula mediante la Ecuación (2-23).

$$f_{RT} = 1.0 - 0.15P_{RT} \quad (2 - 22)$$

$$f_{RT} = 1.0 - 0.15P_{RT} \quad (2 - 23)$$

en donde:

f_{RT} = Factor de ajuste por vueltas a la derecha
 P_{RT} = Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles

Factor de ajuste por peatones: El factor de ajuste para peatones considera las zonas de conflicto en intersecciones donde los usuarios compiten por espacio como se muestra en la Figura 2.5. Las zonas de conflicto consideran los siguientes componentes cualitativos: intervalo de indicación de la fase de verde, número de carriles de giro que tienen conflicto con peatones, tipos de movimiento (protegidos, permitidos). Hay cuatro pasos para determinar los factores de ajuste sobre la tasa de flujo de saturación:

1. Calcular la ocupación peatonal promedio OCC_{pedg} .

La ocupación peatonal promedio (OCC_{pedg}) se origina del volumen peatonal V_{ped} ; si la tasa de flujo peatonal V_{pedg} es medida en campo entonces se puede calcular directamente OCC_{pedg} , caso contrario el volumen peatonal tiene que ser convertido a una tasa de flujo peatonal usando la Ecuación (2-24).

$$V_{pedg} = V_{ped} \left(\frac{C}{g_p} \right) \quad (V_{ped} \leq 5000) \quad (2 - 24)$$

con:

V_{pedg} = Tasa de flujo peatonal (peatones/h)
 V_{ped} = Volumen peatonal (peatones/h)
 C = Longitud del ciclo (s)

g_p = Tiempo de verde peatonal (s)

Entonces la ocupación peatonal promedio (OCC_{pedg}) se puede calcular mediante la Ecuación (2-25).

$$OCC_{pedg} = \frac{V_{pedg}}{2000} \quad (V_{pedg} \leq 1000 \text{ y } OCC_{pedg} \leq 0.5) \text{ y}$$

$$OCC_{pedg} = 0.4 + \frac{V_{pedg}}{10000} \quad (1000 < V_{pedg} \leq 5000 \text{ y } 0.5 < OCC_{pedg} \leq 0.9) \quad (2 - 25)$$

donde:

OCC_{pedg} = Ocupación peatonal promedio

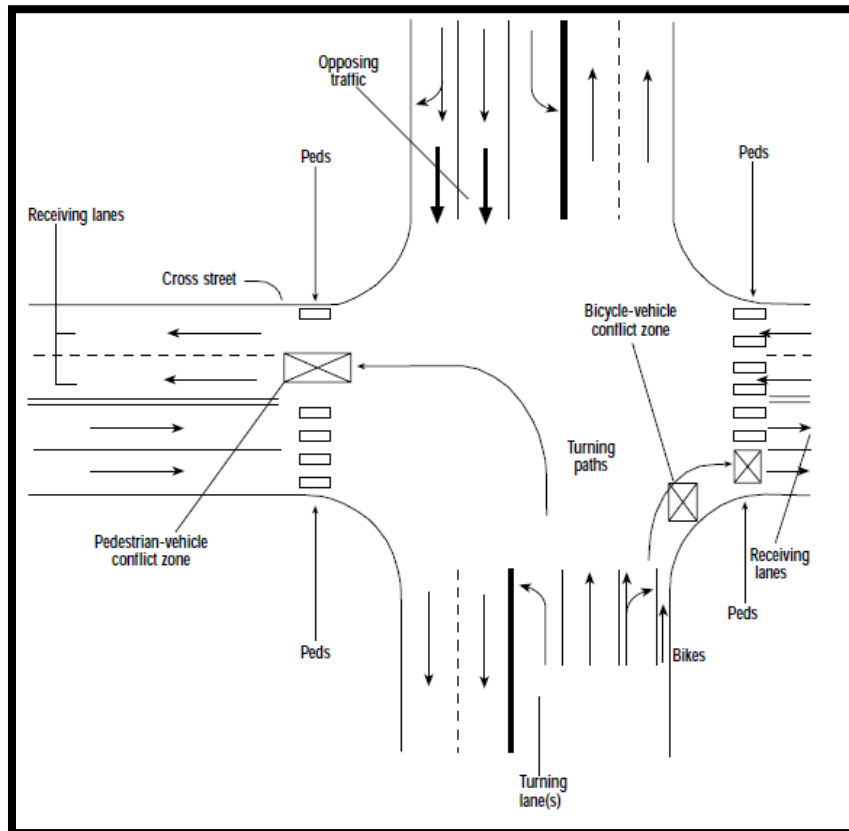


Figura 2. 5. Zonas de conflicto entre peatones y vehículos [1].

2. Determinar la ocupación relevante de la zona de conflicto OCC_r .

Si el tráfico de las bicicletas se junta con el de los vehículos que dan vuelta a la derecha antes de la línea de parada este volumen debe ser ignorado y solo debe considerarse el flujo de peatones.



- Para los movimientos de vueltas a la derecha sin interrupciones de bicicletas se debe usar la Ecuación (2-26).

$$OCC_r = OCC_{pedg} \quad (2 - 26)$$

donde:

OCC_r = Ocupación relevante de la zona en conflicto

- Para los movimientos de vueltas a la izquierda se debe comparar el tiempo de despeje de la cola opuesta g_q con el tiempo de verde peatonal g_p ; si $g_q \geq g_p$ entonces $f_{Lpb} = 1.0$ ya que el tiempo de la cola opuesta consume todo el tiempo de verde peatonal, caso contrario la ocupación peatonal luego de que la cola de oposición se despeje OCC_{pedu} debe ser calculado mediante la Ecuación (2-27).

$$OCC_{pedu} = OCC_{pedg} \left[1 - 0.5 \left(\frac{g_q}{g_p} \right) \right] \quad (2 - 27)$$

en donde:

OCC_{pedu} = Ocupación peatonal luego de que la cola de opuesta se despeje

OCC_{pedg} = Ocupación peatonal promedio

g_q = Tiempo de despeje de la cola opuesta (s)

g_p = Tiempo de verde peatonal (s)

- La ocupación relevante de la zona de conflicto OCC_r , luego de que la cola opuesta se despeje se calcula mediante la Ecuación (2-28).

$$OCC_r = OCC_{pedu} \left[e^{-\left(\frac{5}{3600}\right)V_o} \right] \quad (2 - 28)$$

con:

OCC_r = Ocupación relevante de la zona en conflicto

OCC_{pedu} = Ocupación peatonal luego de que la cola de opuesta se despeje

V_o = Disponibilidad de espacios en el tráfico opuesto

3. Calcular los factores de ajuste de peatones para movimientos de giro, A_{pbT} .

- Para el cálculo de A_{pbT} cuando el número de carriles de giro es igual a número de carriles de recepción se utiliza la Ecuación (2-29).

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad (2 - 29)$$

- Cuando el número de carriles de giro es menor al número de carriles de cruce los vehículos tendrán que maniobrar alrededor de los peatones y probablemente reducirán su velocidad, en base a esto A_{pbT} se calcula mediante la Ecuación (2-30).



$$A_{pbT} = 1 - 0.6(OCC_r) \quad (2 - 30)$$

4. Determinar los factores de ajuste por peatones para vueltas a la izquierda y a la derecha, f_{Lpb} y f_{Rpb} .

Los factores de ajuste f_{Lpb} y f_{Rpb} establecen el efecto del flujo peatonal sobre tasa de flujo de saturación para el giro de vehículos; estos factores dependen del volumen de tráfico que usa las fases protegidas. Los factores f_{Lpb} y f_{Rpb} se calculan mediante la Ecuación (2-31) y (2-32) respectivamente.

$$f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA}) \quad (2 - 31)$$

$$f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA}) \quad (2 - 32)$$

donde:

- f_{Lpb} = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la izquierda
- f_{Rpb} = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la derecha
- P_{LT} = Proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles
- P_{RT} = Proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles
- P_{LTA} = Proporción de vueltas a la izquierda que usan la fase protegida
- P_{RTA} = Proporción de vueltas a la derecha que usan la fase protegida

2.3.3.4 Capacidad "c" y relación volumen-capacidad "V/c"

Capacidad "c"

La capacidad de una intersección semaforizada se establece para cada grupo de carriles como el flujo máximo que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones geométricas, del tránsito y del semáforo. Se calcula mediante la Ecuación (2-33).

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right) \quad (2 - 33)$$

donde:

- c_i = Capacidad del grupo de carriles i (veh/h)
- s_i = Tasa de flujo de saturación ajustado del grupo de carriles i (veh/h/carril)
- g_i = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (s)
- C = Longitud del ciclo (s)

Relación volumen-capacidad "V/c"

La relación volumen-capacidad también conocida como grado de saturación X_i se calcula mediante la Ecuación (2-34).



$$X_i = \frac{v_i}{c_i} \quad (2 - 34)$$

en donde:

- X_i = Grado de saturación del grupo de carriles i
- v_i = Tasa de flujo de demanda actual o proyectada i
- c_i = Capacidad del grupo de carriles i (veh/h)

Si se reemplaza la Ecuación (2-33) en la Ecuación (2-34) se obtiene la Ecuación (2-35).

$$X_i = \frac{\left(\frac{v}{s}\right)_i}{\left(\frac{g_i}{C}\right)} \quad (2 - 35)$$

con:

- X_i = Grado de saturación del grupo de carriles i
- $\left(\frac{v}{s}\right)_i$ = Relación de flujo del grupo de carriles i
- $\left(\frac{g_i}{C}\right)$ = Relación de verde efectivo del grupo de carriles i

El cálculo del grado de saturación crítico X_c , generalmente es calculado para valorar globalmente la intersección y considera los grupos de carriles con las relaciones de flujo más altas para cada fase y se calcula mediante la Ecuación (2-36).

$$X_c = \left(\frac{C}{C - L}\right) \left[\sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci} \right] \quad (2 - 36)$$

donde:

- X_c = Grado de saturación crítico
- C = Longitud del ciclo (s)
- L = Tiempo total perdido por ciclo (s)
- $\sum \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$ = Sumatoria de todas las relaciones de flujo para los grupos de carriles i

2.3.3.5 Medidas de efectividad

Determinación de las demoras

El cálculo de las demoras representa la demora media de control que perciben los vehículos durante el periodo de análisis incluyendo las demoras por sobresaturación del flujo. La demora “ d ” representa el movimiento de vehículos a velocidades bajas, efectos de la desaceleración y detenciones en los accesos por los dispositivos de control. La demora “ d ” para un grupo de carriles se calcula mediante la Ecuación (2-37).



$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (2 - 37)$$

donde:

- d = Demora media de control (s/veh),
- d_1 = Demora uniforme (s/veh), suponiendo llegas uniformes
- d_2 = Demora incremental (s/veh), efecto de llegadas aleatorias y flujo sobresaturado
- d_3 = Demora de cola inicial (s/veh)

Demora Uniforme, d_1 : La demora uniforme d_1 ocurre cuando los vehículos llegan uniformemente distribuidos y no existe saturación de flujo en ningún ciclo durante el tiempo de verde efectivo. La demora d_1 se puede calcular mediante la Ecuación (2-38).

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} \quad (2 - 38)$$

donde:

- d_1 = Demora uniforme (s/veh)
- C = Longitud del ciclo (s)
- $\left(\frac{g}{C}\right)$ = Relación de verde efectivo del grupo de carriles
- X = Grado de saturación del grupo de carriles

Demora incremental, d_2 : La demora incremental considera que las llegadas son aleatorias lo cual ocasiona que el flujo se sobresature en algunos ciclos, además supone que no hay una cola inicial al inicio del periodo de análisis. La demora d_2 se puede calcular mediante la Ecuación (2-39).

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right] \quad (2 - 39)$$

en donde:

- d_2 = Demora incremental (s/veh)
- X = Grado de saturación del grupo de carriles
- T = Duración del periodo de análisis (15 minutos)
- c = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)
- k = Factor de demora incremental, $k = 0.50$ para intersecciones prefijadas
- I = Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba

Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba, I : El factor de ajuste I , explica el efecto de llegadas que han sido filtradas por un dispositivo de control corriente arriba de la intersección. Para intersecciones aisladas (es decir, a una distancia de 1,60



km de la intersección anterior) el valor de $I = 1.00$; en intersecciones no aisladas se puede utilizar la Ecuación (2-40) o la Tabla 2.5 para estimar I en función de X_u .

$$I = 1.0 - 0.91(X_u)^{2.68} \geq 0.090 \quad (2 - 40)$$

con:

- I = Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba
- X_u = Relación volumen-capacidad ponderada para todos los movimientos corriente arriba que contribuyen al volumen del grupo en estudio.

Tabla 2. 5. Valores recomendados de I para cada grupo de carriles [1].

	Degree of Saturation at Upstream Intersection, X_u						
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	≥ 1.0
I	0.922	0.858	0.769	0.650	0.500	0.314	0.090

La relación volumen-capacidad X_u para intersecciones urbanas se puede aproximar como la relación v/c del movimiento directo en el grupo de carriles.

Demora por cola inicial, d_3 : La demora por cola inicial d_3 , se produce por una demanda insatisfecha en el periodo de análisis anterior y no por fluctuaciones que se producen ciclo a ciclo que ocasionalmente exceden su capacidad.

Cuando en un grupo de carriles $X > 1$, significa que el siguiente periodo de análisis iniciará con una cola inicial Q_b que debe observarse al inicio del rojo y que producirá una demora d_3 que se puede calcular mediante la Ecuación (2-41).

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1 + u)t}{cT} \quad (2 - 41)$$

donde:

- Q_b = Cola inicial al inicio del periodo T (veh)
- T = Duración del periodo de análisis (0.25 h)
- c = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)
- u = Parámetro de demora
- t = Duración de la demanda insatisfecha (h)

Existen cinco casos posibles para evaluar la demora d_3 :

1. Periodo no saturado donde $Q_b = 0$, por lo tanto $d_3 = 0$.
2. Periodo sobresaturado donde $Q_b = 0$, por lo tanto $d_3 = 0$.
3. Periodo T es capaz de disipar la cola Q_b , para que esto ocurra debe cumplirse que $Q_b + vT < cT$; donde vT es la demanda y cT es la capacidad.
4. Al final del periodo T existe una demanda insatisfecha decreciente Q_b , para que esto ocurra debe cumplirse que $vT < cT$.



5. Al final del periodo T existe una demanda insatisfecha creciente Q_b , para que esto ocurra debe cumplirse que $vT > cT$.

Para los casos 3,4,5:

Cálculo de la duración de la demanda insatisfecha, t : La duración de la demanda insatisfecha se calcula para cada grupo de carriles mediante la Ecuación (2-42).

$$t = \min \left\{ T, \frac{Q_b}{c[1 - \min(1, X)]} \right\} \quad (2 - 42)$$

en donde:

- t = Duración de la demanda insatisfecha (h)
- Q_b = Cola inicial al inicio del periodo T (veh)
- T = Duración del periodo de análisis (0.25 h)
- c = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)
- X = Grado de saturación del grupo de carriles

Cálculo del parámetro de demora, u : El parámetro de demora se calcula para cada grupo de carriles mediante la Ecuación (2-43).

$$u = 0 \text{ si } t < T, \quad \text{caso contrario } u = 1 - \frac{cT[1 - \min(1, X)]}{Q_b} \quad (2 - 43)$$

donde:

- u = Parámetro de demora
- t = Duración de la demanda insatisfecha (h)
- Q_b = Cola inicial al inicio del periodo T (veh)
- T = Duración del periodo de análisis (0.25 h)
- c = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)
- X = Grado de saturación del grupo de carriles

Cálculo de las demoras agregadas: Las demoras agregadas para un acceso se determinan mediante un promedio ponderado de las demoras y los flujos ajustados de cada grupo de carriles. Se puede calcular mediante la Ecuación (2-44).

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A d_i v_i}{\sum_{i=1}^A v_i} \quad (2 - 44)$$

en donde:

- A = Número de grupos de carriles en el acceso
- d_A = Demora en el acceso A (s/veh)
- d_i = Demora en el grupo de carriles i (s/veh)



v_i = Volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/h)

La demora total de la intersección se determina mediante un promedio ponderado de las demoras y los flujos ajustados de cada acceso. Se puede calcular mediante la Ecuación (2-45).

$$d_I = \frac{\sum d_A v_A}{\sum v_A} \quad (2 - 45)$$

donde:

I = Número de accesos de la intersección
 d_I = Demora en la intersección I (s/veh)
 d_A = Demora en el acceso A (s/veh)
 v_A = Volumen ajustado del acceso A (veh/h)

Determinación del nivel de servicio

Como se mencionó anteriormente el nivel de servicio está directamente relacionado con las demoras por vehículo; una vez obtenidas las demoras para cada grupo de carriles, para cada acceso y para la intersección, se determina el nivel de servicio empleando la Tabla 2.1.

2.4 Semaforización

Los semáforos son dispositivos de señalización electromagnéticos y electrónicos con los cuales se regula la circulación de vehículos, peatones y bicicletas, mediante el uso de indicadores visuales que otorgan el derecho al paso; los indicadores son luces generalmente de color verde, amarillo y rojo. El semáforo es útil para controlar la seguridad en la interacción de vehículos y peatones, estos pueden ser de tiempo fijo o actuado por el tránsito [6].

Los semáforos cumplen las siguientes funciones [2]:

- Ordenan la circulación del tránsito y en algunos casos optimizan la capacidad de los grupos de carriles.
- Reducen los accidentes de tránsito.
- Interrumpen periódicamente los flujos de vehículos de una arteria para ceder el paso a peatones y vehículos de la arteria transversal.
- Representan un ahorro considerable con respecto a los agentes de tránsito.

2.4.1 Semáforos de tiempo fijo

Los semáforos de tiempo fijo son aquellos que están programados para cambiar sus indicaciones en intervalos de tiempo fijos; se utilizan principalmente en flujos vehiculares



estables y se adaptan especialmente cuando se desea sincronizar el funcionamiento de intersecciones adyacentes [2]. Entre las principales ventajas están:

- Facilitan la coordinación de semáforos adyacentes.
- No dependen de los detectores cuando hay una interrupción del tráfico.
- Son más económicos con respecto a la utilización de otras formas de control como por ejemplo los semáforos actuados por el tránsito.

2.4.1.1 Términos básicos

Los términos básicos empleados son [2]:

Indicación: consiste en mostrar una o varias de las luces al mismo tiempo.

Longitud de ciclo: es el tiempo requerido para que el semáforo efectúe una revolución completa de indicaciones de verde, amarillo y rojo.

Intervalo: es el tiempo en el cual no cambian cualquiera de las indicaciones del ciclo.

Fase: es una parte del ciclo en cual uno o más movimientos reciben el derecho al paso durante uno o más intervalos. La fase inicia cuando los vehículos de una arteria pierden el derecho al paso y la ganan los vehículos de la arteria transversal; la fase termina cuando la arteria transversal recibe la indicación amarilla.

Secuencia de fases: orden en el que ocurren las fases del ciclo.

Reparto: porcentaje de cada fase con respecto a la longitud del ciclo.

Intervalo verde: es el intervalo de tiempo en cual los vehículos reciben el derecho de paso y la indicación es verde.

Intervalo de cambio: intervalo de tiempo en el cual los vehículos que tenían el verde reciben una indicación amarilla como precaución del cambio de fase.

Intervalo de todo rojo: intervalo de tiempo en cual todo el tránsito de la intersección recibe una indicación roja. Es utilizado para despejar la intersección, especialmente para los vehículos que pierden el derecho al paso después del amarillo, para que tengan tiempo de salir antes de que los vehículos que reciban el verde entren en la intersección.

Intervalo de cambio de fase: es la suma del intervalo de cambio y el todo rojo; también conocido como entreverde.

2.4.1.2 Cálculos de los tiempos del semáforo.

El objetivo de calcular los tiempos del semáforo es relacionar directamente las fases con los volúmenes de demanda vehicular, de manera que [2]: se optimice la eficiencia de la intersección, se garantice la seguridad y se reduzcan las demoras. La Figura 2.6 muestra de forma esquemática los conceptos de longitud del ciclo, intervalos y fases.

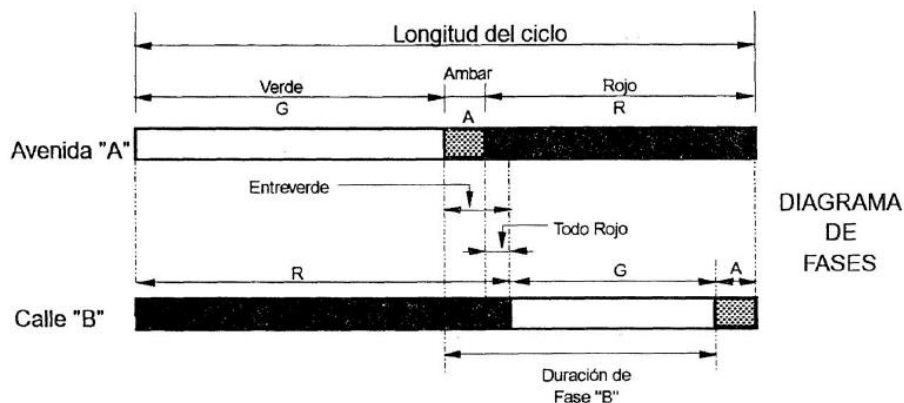


Figura 2.6. Diagrama de fases en una intersección con semáforos [2].

A continuación, se presentan los diversos componentes para el cálculo de los tiempos del semáforo:

Intervalo de cambio de fase Y

La principal función del intervalo de cambio de fase es la de advertir a los conductores un cambio en la asignación del derecho de paso. Se calcula mediante la Ecuación (2-46).

$$Y = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \left(\frac{W + L}{v} \right) \quad (2 - 46)$$

donde:

- Y = Intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo (s)
- t = Tiempo de percepción-reacción del conductor ($t = 1.00$ s)
- v = Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)
- a = Tasa de desaceleración ($a = 3.05$ m/s²)
- W = Ancho de la intersección (m)
- L = Longitud del vehículo (vehículo tipo $L = 6.10$ m)

En la Ecuación (2-46), $t + \frac{v}{2a}$, es el intervalo de cambio amarillo donde, $\frac{v}{2a}$ representa el tiempo necesario para recorrer la distancia de parada con una desaceleración a y una velocidad v como se muestra en la Figura 2.7; la segunda parte de la ecuación $\frac{W+L}{v}$, se asocia al todo rojo y es el tiempo necesario para cruzar la intersección.

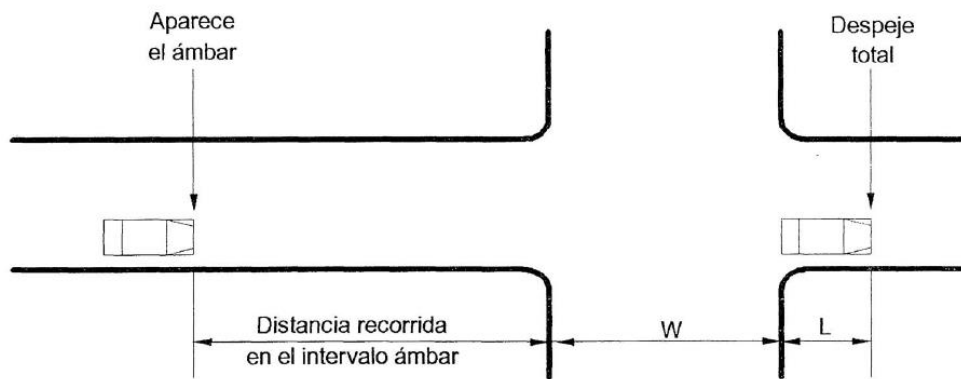


Figura 2.7. Esquema de intervalo de cambio de fase [2].

Longitud del ciclo C_o

Según F.V. Webster [7], la longitud del ciclo óptimo con el cual se obtiene la demora mínima de los vehículos, se calcula mediante la Ecuación (2-47).

$$C_o = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} \quad (2 - 47)$$

donde:

- C_o = Tiempo ciclo óptimo (s)
- L = Tiempo total perdido por ciclo (s)
- Y_i = Valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso, movimiento o carril crítico de la fase i
- φ = Número de fases

Valores aceptables del ciclo C están entre el 75 % y el 150 % del ciclo óptimo C_o , para el cual las demoras excederán entre el 10 % y el 20 % de la demora mínima.

Vehículos equivalentes

En la mayoría de los casos el flujo que sale de una intersección está compuesto de vehículos livianos, pesados y autobuses que realizan giros a izquierda o a la derecha, para tener en cuenta este efecto es necesario introducir un factor de equivalencia f_{HV} que se calcula mediante la Ecuación (2-48) [5].

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (2 - 48)$$

en donde:

- f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados
- P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados del grupo
- E_T = Número equivalente de vehículos livianos por cada vehículo pesado ($E_T = 2 \text{ veh/pesado}$)



Por otra parte, es necesario incluir factores de vueltas a la derecha E_{VD} y a la izquierda E_{VI} ; ya que por el efecto de las maniobras los vehículos consumen mayor tiempo en comparación con los autos que avanzan de frente. En las Tablas 2.6 y 2.7 se muestran los factores de equivalencia para E_{VI} y E_{VD} respectivamente.

Tabla 2.6. Automóviles directos equivalentes para vueltas a la izquierda EVI [2].

Flujo opuesto (veh/h)	Número de carriles opuestos		
	1	2	3
0	1,10	1,10	1,10
200	2,50	2,00	1,80
400	5,00	3,00	2,50
600	10,00	5,00	4,00
800	13,00	8,00	6,00
1000	15,00	13,00	10,00
≥1200	15,00	15,00	15,00
Para giros protegidos a la izquierda $E_{VI} = 1,05$			

Tabla 2.7. Automóviles directos equivalentes para vueltas a la derecha EVD [2].

Volumen peatonal en el cruce peatonal en conflicto (peatones/h)	Equivalente
Ninguno (0)	1,18
Bajo (50)	1,21
Moderado (200)	1,32
Alto (400)	1,52
Extremo (800)	2,14

Los volúmenes horarios de máxima demanda, $VHMD$, deben ser convertidos a flujos de automóviles directos equivalentes por hora, q_{ADE} , mediante la Ecuación (2-49).

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left(\frac{1}{f_{HV}} \right) (E_{LT} \text{ o } E_{RT}) \quad (2 - 49)$$

con:

- q_{ADE} = Automóviles directos equivalentes por hora
- $FMHD$ = Factor horario de máxima demanda
- f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados
- E_{LT} o E_{RT} = Automóviles directos equivalentes para vueltas a la izquierda o derecha

Flujo de saturación y tiempo perdido

La tasa de *flujo de saturación* representa la tasa máxima de vehículos que cruzan la línea de parada en un ciclo promedio y está reflejada en el área bajo la curva *sg*. La Figura 2.8 muestra un modelo básico de flujo de saturación según el investigador R. Akcelik [8].

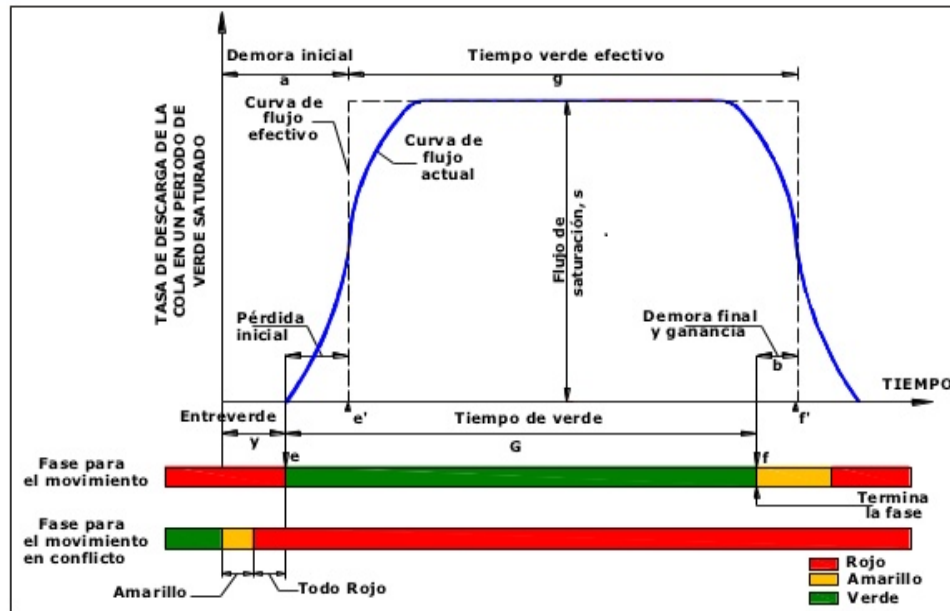


Figura 2.8. Modelo de flujo de saturación [8].

Tiempo perdido por ciclo, L: El tiempo total perdido por ciclo se considera como la sumatoria de los intervalos de cambio de fase para cada una de las fases. Se calcula mediante la Ecuación (2-50):

$$L = \sum_{i=1}^{\varphi} A_i + TR_i \quad (2 - 50)$$

donde:

- L = Tiempo total perdido por ciclo (s)
- A_i = Intervalo de amarillo (s)
- TR_i = Intervalo de todo rojo (s)
- φ = Número de fases

Asignación de tiempos verdes

El tiempo verde efectivo total g_T , por ciclo y para todos los accesos de la intersección se calcula con la Ecuación (2-51).

$$g_T = C - L \quad (2 - 51)$$



en donde:

- g_T = Tiempo verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos (s)
- C = Longitud del ciclo (redondeando C_o a los 5 segundos más cercanos) (s)
- L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

Para obtener una demora mínima en la intersección, el tiempo verde efectivo total por ciclo g_T , debe repartirse de manera ponderada a cada fase usando las relaciones de flujo máximas y el flujo de saturación de cada fase. El tiempo de verde efectivo para cada fase se calcula mediante la Ecuación (2-52).

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} (g_T) = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{\varphi}} (g_T) \quad (2 - 52)$$

donde:

- g_i = Tiempo verde efectivo para cada fase (s)
- g_T = Tiempo verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos (s)
- Y_i = Valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso, movimiento o carril crítico de la fase i
- φ = Número de fases

En la Ecuación (2-53), se calcula el tiempo verde real para cada fase i.

$$G_i = g_i + l_i - A_i - TR_i \quad (2 - 53)$$

en donde:

- G_i = Tiempo verde real para cada fase i (s)
- g_i = Tiempo verde efectivo para cada fase (s)
- l_i = Tiempo perdido por fase (s)
- A_i = Intervalo de amarillo (s)
- TR_i = Intervalo de todo rojo (s)

El tiempo perdido por fase l_i , considera la diferencia entre la demora inicial y la ganancia final; la ganancia final ff' y la demora inicial (suma del tiempo de entreverde y_i y la pérdida inicial ee'), se muestran en la Figura 2.8.

2.4.2 Semáforos accionados por el tránsito

2.4.2.1 Generalidades

La principal característica de los semáforos accionados por el tránsito es que la duración de los ciclos varía según la demanda de tránsito vehicular; esta demanda es registrada por medio de detectores que están conectados al semáforo, el mismo que se ajusta continuamente a la longitud del ciclo y a la división en las distintas fases [2].



Para que se justifique la instalación de semáforos accionados por el tránsito es necesario tener en cuenta los siguientes factores [2]:

1. Cuando el volumen de tránsito de la arteria principal es intenso y dificulta la circulación de la calle secundaria se puede instalar semáforos accionados por el tránsito.
2. El costo es más elevado que semáforos de tiempo fijo por lo que se debe justificar su inversión.
3. Cuando se requiera controlar la intersección durante un periodo de tiempo que puede ser la hora de máxima demanda, se puede instalar semáforos accionados por el tránsito.
4. Cuando se dan variaciones considerables del volumen de tránsito, se justifica la instalación de semáforos accionados por el tránsito.
5. Cuando la configuración de la intersección exige semáforos de fases múltiples donde en algunos casos se podría eliminar una fase cuando no hay demanda, se puede instalar semáforos accionados por el tránsito.
6. Cuando no hay una buena coordinación de un sistema de intersecciones es ventajoso usar semáforos accionados por el tránsito.
7. Cuando hay cruces de peatones cerca de lugares como escuelas o centros de espectáculos se justifica la instalación de semáforos accionados por el tránsito.

Si los detectores son usados en algunos de los accesos de la intersección el control es *semiaccionado*. Si es usado en todos los accesos se conoce como control totalmente *accionado*.

2.4.2.2 Control totalmente accionado

El sistema de control totalmente accionado por el tránsito registra a través de los detectores la demanda vehicular, cediendo el derecho de paso a la calle que lo solicitó de último. El sistema es flexible y se adapta a las fluctuaciones del tránsito, en algunos casos puede eliminar fases en donde no haya demanda vehicular.

Una secuencia de operación de un sistema de cuatro fases tendría los siguientes intervalos [2]:

1. Intervalo inicial (2 a 30 s): permite el arranque de los vehículos.
2. Intervalo de vehículos (2 a 30 s): permite al vehículo desplazarse desde el detector hasta la intersección. Cuando el intervalo llega al máximo el paso, es cedido de acuerdo con la demanda de la fase opuesta.
3. Intervalo máximo (10 a 60 s): tiempo máximo del que pueden disponer las otras tres fases en una demanda de tránsito continua.
4. Intervalo de despeje (1 a 10 s): tiempo de despeje de la intersección a continuación del verde.



2.4.2.3 Detectores

Existen diversos tipos de detectores para registrar el paso de vehículos y son los siguientes [2]:

1. *Detector de presión*: están ubicados por debajo del pavimento y registran los vehículos por medio de la presión ejercida por las llantas.
2. *Detector magnético*: están ubicados por debajo del pavimento y registran los vehículos por medio de sensores magnéticos.
3. *Detector de radar*: es un transmisor ubicado en un poste de luz pública que emite ondas que al pasar por los vehículos son reflejadas hacia el semáforo indicando la presencia de un vehículo.
4. *Detector de inducción*: consiste en un alambre de lazo y un amplificador; el alambre se inserta en el pavimento y cuando un vehículo pasa sobre él se registra la presencia de un campo magnético que envía un impulso al semáforo indicando la presencia de un vehículo.

2.4.3 Sistemas computarizados de semáforos

Debido a la complejidad y al gran número de variables que actúan en el flujo vehicular de intersecciones urbanas, es necesario integrar programas de cómputo que optimizan la simulación de las condiciones actuales y ayudan a la toma de decisiones para la solución de un determinado problema. Los programas que se describen a continuación son usados universalmente en intersecciones con semáforos.

2.4.3.1 Programa SYNCHRO 8

Synchro 8, [9] sirve para la modelación, evaluación y optimización de sistemas viales a nivel macroscópico mediante la aplicación del método del HCM 2010 [1]. A continuación, se describen brevemente las consideraciones que hace el programa:

1. *Ajuste de los flujos vehiculares*: Se dividen todos los volúmenes de tráfico para el factor horario de máxima demanda como lo indica el HCM 2010.
2. *Ajuste de la capacidad*: Synchro 8, emplea la tasa de flujo de saturación base de 1900 vehículos livianos/h/carril, la misma que es ajustada por medio de los factores correspondientes tal como se indicó en la Ecuación (2-14).
3. *Determinación de las demoras*: Las demoras son calculadas por medio de la Ecuación (2-37), el programa considera la demora por cola inicial $d_3 = 0$, ya que explícitamente se incluyen los efectos de la coordinación del tráfico en la demora uniforme d_1 .
4. *Nivel de servicio*: El nivel de servicio de cada grupo de carriles es calculado mediante la Tabla 2.1, tomando en cuenta las demoras y la relación volumen-capacidad.

Actualmente este programa es uno de los más usados ya que ofrece grandes ventajas como [9]:

- Optimizar la longitud de ciclo, así como también los repartos de tiempos de verde para cada fase.
- Generar una solución del ciclo óptimo en menos tiempo que cualquier otro programa existente.
- Simulación y evaluación de diferentes escenarios con dispositivos de control de tiempo fijo o accionados por el tránsito.
- Asegurar que los datos de campo están siendo representados de manera correcta gracias al nivel de detalle y la variedad de parámetros de entrada previamente inspeccionados.
- Permite importar la cartografía a escala de la zona de estudio que puede ser utilizada como un mapa de fondo al momento de configurar las redes, como se muestra en la Figura 2.9.

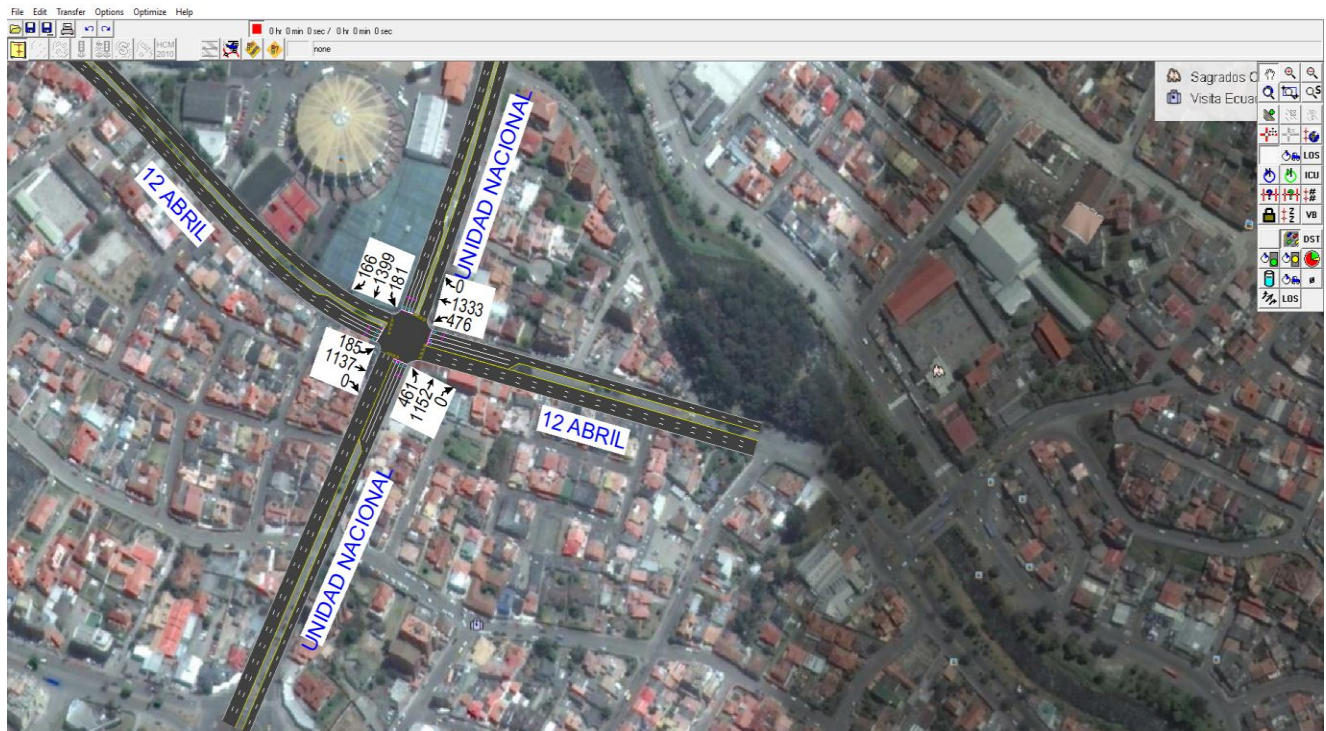


Figura 2.9. Vista general del programa Synchro 8 [9].

2.4.3.2 Programa TRITONE 17

Tritone 17 [10], es un micro-simulador de carreteras desarrollado en Italia por la Universidad de Calabria como una herramienta para modelar el tránsito. La micro-simulación es capaz de representar en forma precisa y sencilla el tráfico teniendo en cuenta aspectos geométricos y el comportamiento real de los conductores (aceleración-desaceleración, maniobras de adelantamiento, cambios de carril, giros, maniobras para



evitar obstáculos, etc.). Los factores en los cuales el programa basa el funcionamiento de la circulación vehicular son [10]:

- Cada conductor tiende a alcanzar la velocidad deseada en base al estilo de conducción, al rendimiento del vehículo y a las características geométricas de la vía
- Cada conductor determina en qué instante necesita o le conviene cambiarse de carril
- Cada conductor establece en qué instante puede realizar una maniobra de adelantamiento ya sea por necesidad o conveniencia
- Cada conductor evalúa cualquiera de las acciones anteriores en base al tiempo requerido para realizar la maniobra y en base a las velocidades de maniobra de los otros vehículos

Tritone 17, es capaz de tomar en cuenta el comportamiento distinto de los conductores ya que tiene varias funciones de distribución que incluyen la variación de la velocidad y el espaciamiento entre vehículos. El comportamiento del conductor está en función del rendimiento del vehículo cuyas características se clasifican en tres categorías:

1. Especificaciones técnicas del vehículo:
 - a. Longitud del vehículo
 - b. Velocidad máxima
 - c. Aceleración
2. Comportamiento del conductor:
 - a. Límites psicofísicos de la percepción del conductor (percepción de seguridad y riesgos)
 - b. Aceleración de acuerdo con el límite normativo
3. Interacción entre el vehículo y su entorno:
 - a. Relación entre un vehículo y los vehículos cercanos
 - b. Características geométricas de la calle
 - c. Información de los semáforos

El programa comienza a través de la descripción esquemática de nodos y tramos lo que permite dibujar la configuración de la intersección. A los tramos se les debe asignar la longitud, la velocidad, la capacidad, el número de carriles, la pendiente y el ancho de los carriles; mientras que el ingreso de los flujos se lo realiza del nodo de origen al nodo de destino dentro del periodo de análisis. En la Figura 2.10 se muestran las ventanas para el ingreso de los datos descritos.

	Nodo Inicial	Nodo Final	Nodo Inicial	Nodo Final
	1	2	1	12
Longitud	230	metri	Flota de vehículos	
Velocidad Vo	50	km/h	1	
Capacidad	1900	veic/h	Intervalo de asignación	
Carriles	3		Inicio [sec]	bien [sec]
Pendientes	3	%	0	3600
Ancho de...	3	metri		Final...
				278

Figura 2.10. Ingreso de datos en Tritone [10].

Para el presente estudio se utilizan dos modelos de análisis para evaluar la intersección; el modelo Giofrè Avanzato implementado en Tritone y el modelo de Gipps utilizado por el AIMSUN [10].

Modelo Giofrè Avanzato: Este modelo se basa en analizar la velocidad de circulación y la distancia entre vehículos, estos dos factores se ven afectados principalmente por la agresividad de los conductores y por las distancias de seguridad mínimas entre los vehículos.

Modelo de Gipps: De acuerdo con este modelo la velocidad del vehículo es controlada por tres condiciones:

1. Asegurar que el vehículo no exceda la velocidad deseada
2. Asegurar que el vehículo aumente la aceleración cuando todavía esté a una velocidad inicial y luego disminuya a cero cuando se aproxime a la velocidad deseada
3. Asegurar que el conductor tenga un tiempo de reacción óptimo para controlar la velocidad del vehículo

Los resultados proporcionados por Tritone 17 con cualquiera de los modelos de análisis expuestos son:

1. Información sobre los vehículos
 - a. Velocidad media de cada vehículo
 - b. Demoras
2. Información de incidentes
 - a. Frecuencia con la que ocurren accidentes
3. Información sobre parámetros ambientales
 - a. Emisiones de CO_2 , por vehículo
 - b. Emisiones totales de CO_2
4. Indicadores de seguridad
 - a. Certificado de protección ante los riesgos de accidentes "A.P.R.I."

Para el cálculo de la velocidad media de cada vehículo el programa incluye varias funciones de distribución las cuales modelan las características geométricas de la vía y



las facilidades de maniobra de los conductores, dependiendo de estos dos factores la velocidad de circulación media podría ser mayor o menor a la permitida.

El programa calcula las demoras medias de cada vehículo en función de la capacidad de la vía y de la longitud del ciclo, pero no cuenta con una tabla o rangos que me permitan clasificarla en un nivel de servicio determinado; para efectos de este trabajo las demoras obtenidas se clasificaran en función de la Tabla 2.1.

Tritone considera que mientras más altas sean las demoras, mayor cantidad de CO_2 se generará. Según la Norma Técnica Ecuatoriana para la gestión ambiental [11], el límite máximo permisible de este agente contaminante es de 7.1 g/km/veh.

El *A.P.R.I.* es un porcentaje entre 0% y 100% que califica a la vía en cuanto a la seguridad, mientras este porcentaje sea más cercano al 100%, más peligrosa será la misma, es calculado en función de las maniobras que desaceleración que experimentan los vehículos. El certificado de protección ante los riesgos de accidentes se podría decir que es igual el nivel de servicio de la vía, pero desde el punto de vista de la seguridad, en la Tabla 2.8 se muestra una clasificación general de este parámetro.

Tabla 2. 8. Clasificación de la seguridad vial en Tritone.

A.P.R.I (%)	Clasificación de la seguridad
0-20	Excelente
20-40	Muy Buena
40-60	Aceptable
60-80	Deficiente
80-100	Muy deficiente

2.4.3.3 Programa INVEST: Versión 1.2

INVEST [12], es una página web desarrollada por la Departamento de Transporte de los Estados Unidos-Federal Highway Administration (FHWA), como una herramienta para la evaluación de la sostenibilidad de cualquier proyecto de infraestructura vial en las cuatro etapas del ciclo de vida, las cuales son:

1. Planificación del sistema
2. Planificación del proyecto
3. Diseño y construcción
4. Operación y mantenimiento

La sostenibilidad se basa en el equilibrio de tres aspectos: Social, Económico y Ambiental; esta triple línea de acción supone el mejorar los aspectos más débiles a cada momento para obtener como resultado un ambiente sano basado en el uso eficiente de los recursos y en principios ecológicos. En resumen, un plan de manejo sostenible de un



proyecto se basa en ahorrar energía y recursos, reciclar materiales, reducir la emanación de sustancias tóxicas, mejorar la armonía con el entorno y la calidad de vida [12].

El presente estudio solo se enfoca en la etapa de operación y mantenimiento ya que es el principal problema en cualquier proyecto vial; este módulo se basa en calificar las operaciones del sistema y en evaluar las actividades de mantenimiento a través de 14 criterios (el desglose para la calificación de cada uno de los criterios se muestra en el Anexo 7) cada uno de los cuales recibe una puntuación de 15 como máximo, los mismos que se describen a continuación [12]:

1. *Plan de sostenibilidad interna*: Implementar un plan de sostenibilidad interno “CISP” como una forma de mostrar el compromiso organizacional usando responsablemente los recursos naturales, ofreciendo alternativas de desplazamiento diario y capacitando a los empleados sobre la sostenibilidad. Los componentes de un plan de sostenibilidad interno se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2. 9. Componentes de un plan de sostenibilidad interno [12].

Componente	Ejemplo
Una meta es el área que necesita ser mejorada.	Una agencia de transporte quiere reducir su huella ambiental.
Se utilizará una métrica de rendimiento para evaluar los progresos realizados hacia el área de meta.	Para medir su desempeño, la agencia hará un seguimiento de su consumo de energía.
Un objetivo utiliza la métrica de rendimiento seleccionada e identifica los objetivos específicos que se alcanzarán en el futuro.	El objetivo es reducir el consumo anual de energía de la agencia un 20% por debajo de los niveles actuales en 2 años. (La línea base es la cantidad de energía que la agencia consume actualmente por año).
Las estrategias son categorías de acciones utilizadas para alcanzar el objetivo.	La agencia utilizará tres estrategias principales para alcanzar el objetivo: (1) consumir menos electricidad, (2) consumir menos gasolina y combustible diesel, y (3) consumir menos gas natural.
Las acciones son cosas específicas que se pueden hacer para implementar las estrategias.	Para implementar la estrategia de consumir menos electricidad, la agencia: (1) reemplazará las bombillas incandescentes por fluorescentes compactos, (2) reemplazará el equipo de oficina roto con modelos de eficiencia energética, y (3) instalará sensores de ocupación en el sistema de iluminación.

2. *Eficiencia y uso de la energía eléctrica*: Reducir el consumo de combustibles fósiles durante las actividades de operación y mantenimiento a través de mejoras en la eficiencia y el uso de fuentes de energía renovables (luz solar, calor térmico y el viento)
3. *Eficiencia y uso del combustible en vehículos*: Reducir el consumo de combustible y las emisiones de sustancias tóxicas de los vehículos mejorando la salud pública, reduciendo el uso y el costo de la energía contribuyendo al impacto ambiental asociado con las emisiones. La reducción de la energía se basa en el criterio de



disminuir las demoras modificando la longitud del ciclo que se da como consecuencia del cambio en la geometría de la vía.

4. *Reutilizar y Reciclar*. Llevar a cabo un plan para reciclar y reutilizar los residuos, equipos y cualquier tipo de materiales que puedan hacer que el proyecto ahorre materia prima, respaldando los principios medioambientales y económicos alentando a la disminución de los costos.
5. *Gestionar la seguridad*: Realizar una revisión sistemática de los datos de seguridad de la vía contribuye a los principios sociales y económicos ya que se reducen los daños en la propiedad pública, las lesiones y la pérdida de vidas.
6. *Sistema de seguimiento de compromisos ambientales*: Asegurar que los principios ambientales sean garantizados y cumplidos durante la operación de la vía. Para garantizar el compromiso ambiental se debe generar un sistema de seguimiento del cumplimiento ambiental “*ECTS*” que incorpora las siguientes regulaciones:
 - a. Asegurar la reforestación de zonas verdes
 - b. Garantizar el buen manejo de aguas pluviales
 - c. Reducir el impacto por contaminación acústica
 - d. Disminuir las emisiones de CO_2
7. *Sistema de gestión del pavimento*: Aprovechar un sistema de gestión de pavimentos “*PMS*”, para prolongar su vida útil realizando actividades de preservación, restauración y sustitución de pavimentos; logrando así reducir los costos, el impacto medio ambiental y el uso de materias primas. Un *PMS* debe incluir los siguientes puntos:
 - a. Realizar inventarios y evaluaciones de la condición del pavimento
 - b. Reservar un presupuesto anual para el mantenimiento
 - c. Priorizar proyectos que requieren rehabilitación
8. *Sistema de gestión de puentes*: Realizar un sistema de gestión de puentes “*BMS*” para prolongar su vida útil mediante actividades de preservación, restauración y sustitución, reduciendo los costos, el impacto ambiental y el uso de materias primas. Un *BMS* debe incluir los siguientes procedimientos:
 - a. Realizar inventarios y evaluaciones de la condición de los puentes
 - b. Identificar acciones alternativas
 - c. Reservar un presupuesto anual para el mantenimiento
 - d. Priorizar proyectos que requieren rehabilitación
9. *Sistema de gestión de mantenimiento*: Realizar un sistema de gestión de mantenimiento “*MMS*” para analizar, evaluar, inventariar, programar, implementar y monitorear actividades de mantenimiento para extender la vida útil del sistema y mejorar el nivel de servicio, reduciendo así el impacto al medio ambiente humano y natural. Un *MMS* debe incluir los módulos que se muestran en la Tabla 2.10:



Tabla 2.10. Componentes de un sistema de gestión de mantenimiento MMS [12].

<p>Planificación: incluye un inventario de activos, directrices de actividades de mantenimiento, objetivos de rendimiento y evaluación de condiciones.</p>
<p>Programación y presupuestación: incluye el análisis presupuestario basado en el desempeño, el programa de trabajo anual y el presupuesto anual.</p>
<p>Gestión de Recursos: incluye un análisis de necesidades de recursos, asignación de personal, gestión de equipos y contratación privada.</p>
<p>Programación: incluye la identificación de necesidades de trabajo, programa de servicio al cliente y programación de trabajo a corto plazo.</p>
<p>Monitoreo y Evaluación: incluye medidas de desempeño, reportes de trabajo y análisis de gestión.</p>
<p>Soporte y Administración de Mantenimiento: incluye el procesamiento y rastreo de permisos y la administración de riesgos.</p>

10. *Preservación y mantenimiento de la infraestructura vial:* Realizar actividades de preservación y mantenimiento de las instalaciones y accesorios de la vía logrando mejorar la calidad del sistema y la satisfacción de los usuarios lo que reduce los costos, el impacto ambiental y el uso de materias primas.
11. *Mantenimiento de Infraestructura de Control de Tráfico (Señalización, semáforos):* Aumentar la eficiencia y la seguridad de los controles de tráfico mejorando la calidad del sistema y la satisfacción del cliente lo que reduce los costos, el impacto ambiental y el uso de materias primas. Para alcanzar este objetivo se debe realizar un Plan de mantenimiento de control de tráfico “TCMP”, el cual debe abarcar los siguientes temas:
 - a. Mantenimiento en la pintura de señalización.
 - b. Evaluación de la reflectividad de las señales.
 - c. Mantenimiento y reparación de señales de tráfico.
 - d. Mantenimiento y reparación del servicio eléctrico.
 - e. Mantenimiento y reparación de dispositivos de control (semáforos).
12. *Programa de gestión del tiempo en carreteras:* Implementar un programa de gestión del tiempo en carreteras “RWMP” para mejorar la seguridad, aumentar la movilidad y la productividad, disminuir las demoras y las interrupciones de tráfico para mejorar continuamente el nivel de servicio de la vía.
13. *Gestión y operaciones de transporte:* Mejorar la eficiencia de la vía para reducir el uso de combustibles fósiles y emisiones conexas, reducir el número de accidentes y por lo tanto la congestión y la pérdida de bienes públicos.



14. *Control de tráfico de la zona de trabajo*: Planificar, implementar y monitorear un Programa de control de tráfico en la zona de trabajo “WZTC”, para maximizar la seguridad de los usuarios de la vía con un mejor nivel de servicio. Un WZTC debe incluir los siguientes elementos:
- a. Identificar los factores que causan lesiones y accidentes
 - b. Corregir las deficiencias en políticas de seguridad
 - c. Trabajar con los agentes de tránsito para que los accidentes sean reportados con exactitud
 - d. Proporcionar clases de formación a los conductores

El objetivo de esta calificación es verificar cuan sostenible puede ser un proyecto en específico, puesto que hoy en día se sigue un control medio ambiental riguroso en proyectos a nivel local, municipal y provincial. Una vez completado el proceso de calificación INVEST realiza una sumatoria de todos los puntajes y los clasifica en cuatro niveles los cuales son [12]:

- *Proyecto con calificación Bronce*: Necesita una puntuación entre 63 y 83 sobre 210 que equivalen a cumplir aproximadamente el 34 % de los criterios expuestos anteriormente, este tipo de proyectos requieren planes para mejorar los aspectos deficientes puesto que solo se cumplen los parámetros mínimos de la sostenibilidad. En lo que respecta a la entidad contratante se recomienda fortalecer los aspectos medio ambientales más débiles mediante un control de calidad riguroso.
- *Proyecto con calificación Plata*: Necesita una puntuación entre 84 y 104 sobre 210 que equivalen a cumplir aproximadamente el 45 % de los criterios expuestos anteriormente, si bien es cierto que se cumple la mitad de las exigencias medio ambientales éste requiere mejorar aún más cada uno de los módulos de análisis. En lo que respecta a la entidad contratante se recomienda fortalecer los aspectos medio ambientales más débiles mediante un control de calidad riguroso.
- *Proyecto con calificación Oro*: Necesita una puntuación entre 105 y 125 sobre 210 que equivalen a cumplir aproximadamente el 55 % de los criterios expuestos anteriormente, este tipo de proyectos se caracterizan por llevar un buen control medio ambiental puesto que cuentan con un plan de sostenibilidad interno el cual es actualizado frecuentemente.
- *Proyecto con calificación Platino*: Necesita una puntuación mayor a 126 sobre 210 equivalente al 60% de los criterios analizados anteriormente, estos tipos de proyectos se caracterizan por tener planes de sostenibilidad en todos los módulos de análisis, mismos que son actualizados constantemente. Para la entidad contratante se recomienda estimular a los encargados de los proyectos con esta calificación, otorgando licencias medioambientales, o dando una mayor oportunidad de participar en proyectos futuros.



2.5 Diseño Geométrico de Intersecciones

El diseño geométrico de una intersección se basa en adaptar las características geométricas de las vías que se cruzan que deben ser capaces de servir al flujo vehicular que pasa por ellas tratando de evitar demoras. Para el análisis y diseño de intersecciones se sigue la norma dispuesta por las NEVI-12 [3].

2.5.1 Composición de Tránsito

Para el diseño se debe considerar el tamaño y peso de los vehículos, con esto la normativa permite clasificarlos en distintas clases, con las cuales se realiza una composición del tránsito para ajustarse al diseño.

Los camiones generalmente son más pesados que los buses y automóviles, son más lentos y ocupan más espacio, por lo tanto, tienen mayor efecto en el tránsito que los vehículos livianos. El efecto de operación de un vehículo pesado equivale al de varios vehículos livianos por eso para este trabajo el pasajero equivalente por vehículo pesado es igual a 2, como se indica en el HCM 2010 [1]. Entonces, a mayor proporción de vehículos pesados mayor intensidad del tránsito. Por lo tanto, la intersección necesitará una mayor capacidad para garantizar que la relación volumen-capacidad sea menor que 0.80 [3].

Clasificación de los vehículos:

La normativa NEVI-12 diferencia dos tipos de vehículos:

- *Vehículos Livianos:* Motocicletas, automóviles, camionetas, pickups con capacidad hasta de 8 pasajeros y ruedas sencillas en el eje trasero.
- *Vehículos Pesados:* Camiones, buses, remolques de más de 4 toneladas de peso y doble llanta en las ruedas traseras.

Vehículo de Diseño

Es un tipo de vehículo cuyo peso, dimensión y características de operación se usa para establecer los parámetros de diseño que se acople a los vehículos del tipo designado. El vehículo de diseño debe ser uno, cuyas dimensiones y radio mínimo de giro sea superior a los de la mayoría de los vehículos de su clase. El MTOP considera varios tipos de vehículos de diseño similares a los que establece la AASHTO [13], de la siguiente manera:

- *Vehículos livianos (A):* (A1 para motocicletas y A2 para automóviles).
- *Buses y Busetas (B):* Sirven para transportar pasajeros en forma masiva.
- *Camiones para transporte de carga (C):* (C-1 para los de dos ejes, C-2 para los de 3 ejes, y C-3 para los de 4, 5 o más ejes).



- *Remolques (R):* Con uno o dos ejes verticales de giro y una unidad completamente remolcada tipo tráiler o tipo Dolly.

La Tabla 2.11 presenta las características de los vehículos mencionados con radios mínimos, alturas y longitudes máximas.

Tabla 2. 11. Características de vehículo de diseño [3].

Vehículo de diseño	A	B	C	R
Altura máxima (m)	2.40	4,10	4,10	4,30
Longitud máxima (m)	5,80	13.00	20.00	>20.50*
Anchura máxima (m)	2,10	2,60	2,60	3.00
Radios mínimos de giro (m)				
Rueda interna	4,70	8,70	10.00	12.00
Rueda externa	7,50	12,80	16.00	20.00
Esquina externa delantera	7,90	13,40	16.00	20.00

2.5.2 Criterios Generales para el Diseño de Intersecciones

Se debe considerar los siguientes aspectos para el diseño de intersecciones con la intención de mejorar el diseño, vale recalcar que es mejor optar por la solución más sencilla y comprensible para los usuarios.

Se debe tener en cuenta algunos conceptos antes del diseño geométrico de una intersección [3]:

- *Priorización de movimientos:* Siempre los movimientos principales deben tener preferencia sobre los secundarios, así se verán limitados los movimientos secundarios con una buena señalización, reduciendo el ancho de la vía o introduciendo curvas de radios pequeños.
- *Consistencia con los volúmenes de tránsito:* La mejor alternativa siempre será la que tenga un equilibrio entre el tamaño y la magnitud de los volúmenes de tránsito.
- *Sencillez y claridad:* Las intersecciones no deben permitir que los conductores duden de sus maniobras, los movimientos no pueden ser molestos o tener recorridos muy largos.
- *Visibilidad:* La velocidad de los vehículos en la intersección debe limitarse en función de la visibilidad, incluso debe permitir la detención total del vehículo.
- *Perpendicularidad de la trayectoria:* En lo posible se debe dejar las intersecciones en ángulo recto puesto que proporcionan mínimas áreas de conflicto, disminuyen los choques y facilitan las maniobras.

Criterios de diseño

La Figura 2.11 muestra los criterios básicos de diseño de una intersección tipo cruz que se indican a continuación [3]:

- El ángulo de entrada (α) debe estar comprendido entre sesenta y noventa grados ($60^\circ - 90^\circ$)
- El radio mínimo de curvas R1, R2, R3, R4 debe corresponder al radio mínimo de giro del vehículo de diseño seleccionado
- La pendiente longitudinal de calzadas que confluyen debe ser, en lo posible, menor que 4%, para facilitar el arranque de los vehículos que acceden a la calzada principal
- La intersección debe satisfacer la distancia de visibilidad de cruce

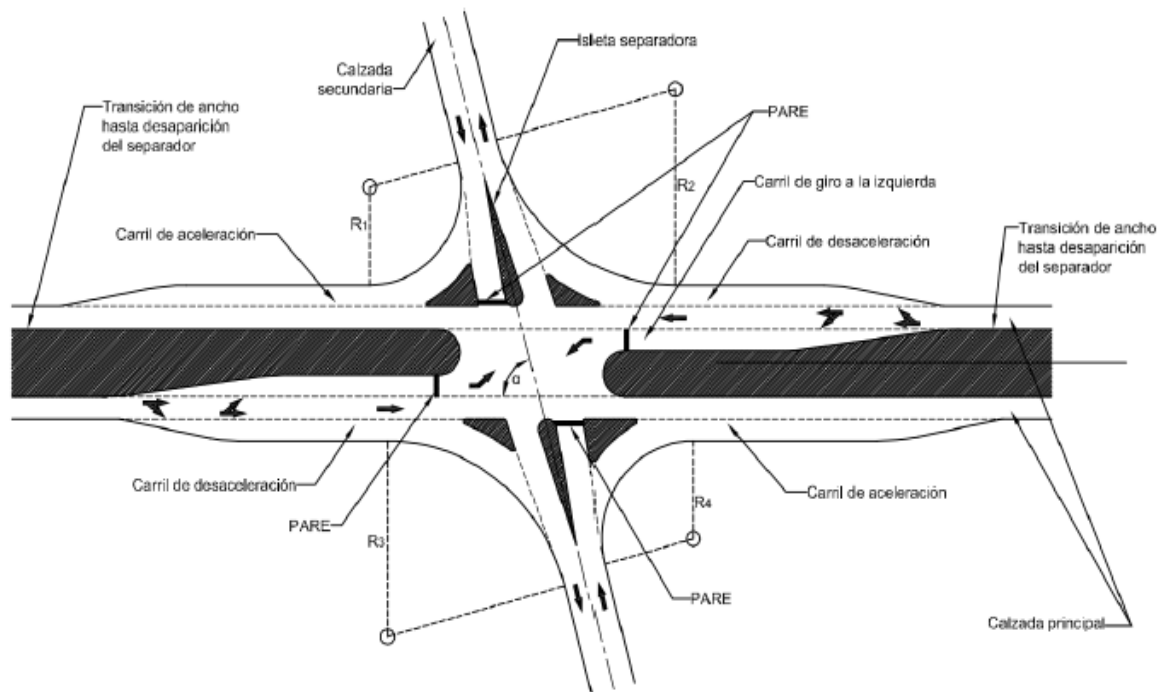


Figura 2. 11. Esquema de intersección tipo cruz [3].

2.5.3 Elementos Básicos de Diseño

Visibilidad en las Intersecciones:

Debe existir una distancia de visibilidad suficiente sin obstáculos a lo largo de ambos accesos de las carreteras en la intersección, para permitir que los conductores de los vehículos que se aproximan simultáneamente; es decir, alcancen a verse el uno al otro con tiempo suficiente para prevenir colisiones.

Un conductor dispone de tres posibilidades: acelerar, reducir la velocidad o detenerse. En cada caso, la relación espacio – tiempo – velocidad, determinará el triángulo de visibilidad libre de obstrucciones que debe existir, o en caso contrario, se debe establecer las restricciones operativas necesarias para la seguridad de los movimientos donde se

presentan condiciones inferiores a las deseables [3]. La Figura 2.12 muestra los posibles casos de triángulos de visibilidad que se pueden formar.

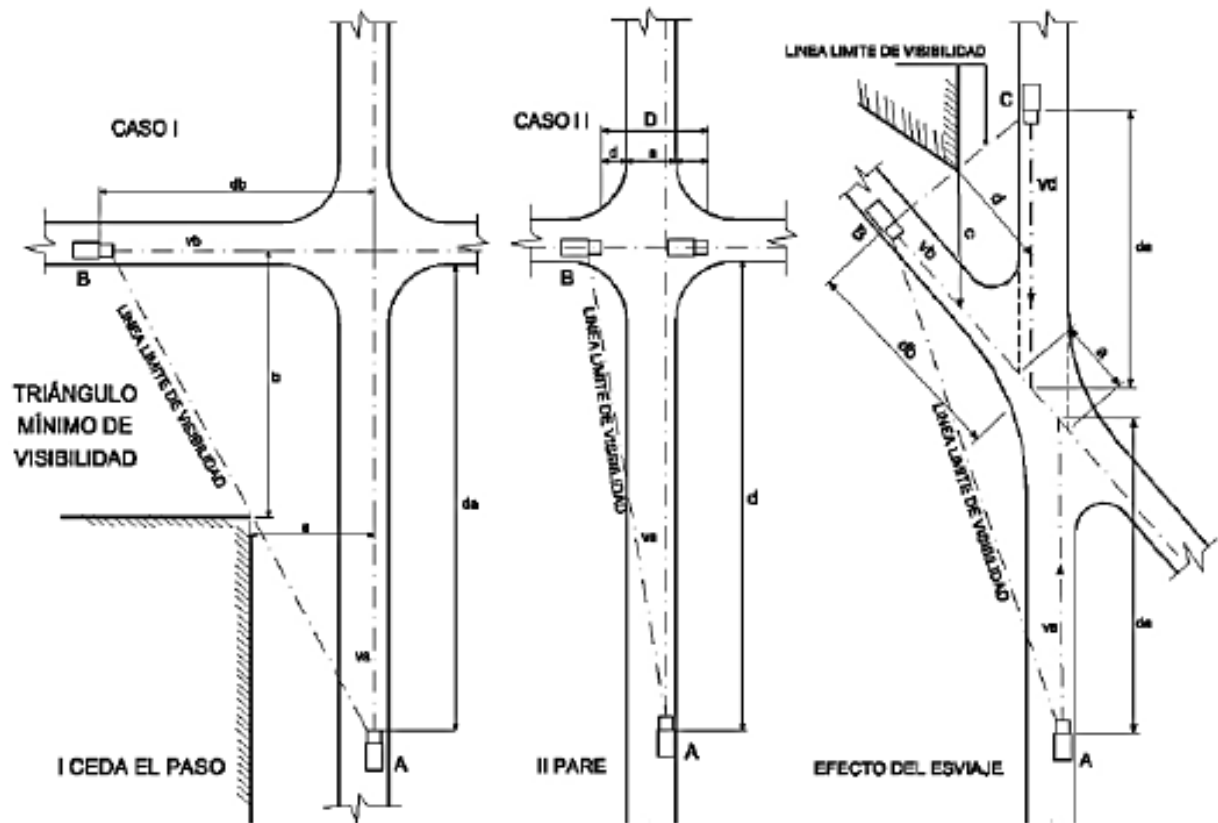


Figura 2.12. Visibilidad en una intersección [3].

Veredas:

Superficies adyacentes a la calzada, libres de obstáculos y son de uso exclusivo de los peatones. Es obligatorio incluirlas en diseños de una vía en rehabilitación o en vías nuevas.

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE TRÁNSITO Y SOSTENIBILIDAD

En el presente capítulo se realiza el procesamiento de la información recogida en campo como son los aforos vehiculares y el levantamiento topográfico a detalle con lo cual se calcula el TPDA del año 2017 y sus proyecciones a 20 años. A partir de la metodología del HCM 2010 se analizan los problemas del tránsito en la intersección para el estado actual y se plantean dos alternativas de solución, cuyos resultados fueron verificados mediante los programas Synchro 8 y Tritone 17. Además de esto se analizó la sostenibilidad de cada una de las alternativas mediante el programa INVEST.

3.1 Detalle de los Aforos Vehiculares

El aforo vehicular en la intersección 12 de Abril y Unidad Nacional se realizó el día lunes 7 de diciembre del 2015, con un lapso de 12 horas seguidas de conteo partiendo desde las 07H00 hasta las 19H00, en lapsos de 15 minutos.

Para su realización se establecieron cuatro estaciones para los aforos de volúmenes y giros, y dos estaciones para los aforos peatonales. La numeración de estas fue hecha en un sentido horario de tal manera que la estación E4 coincida en la dirección Este de la intersección. La Figura 3.1 muestra un esquema de la distribución de las estaciones en la intersección.

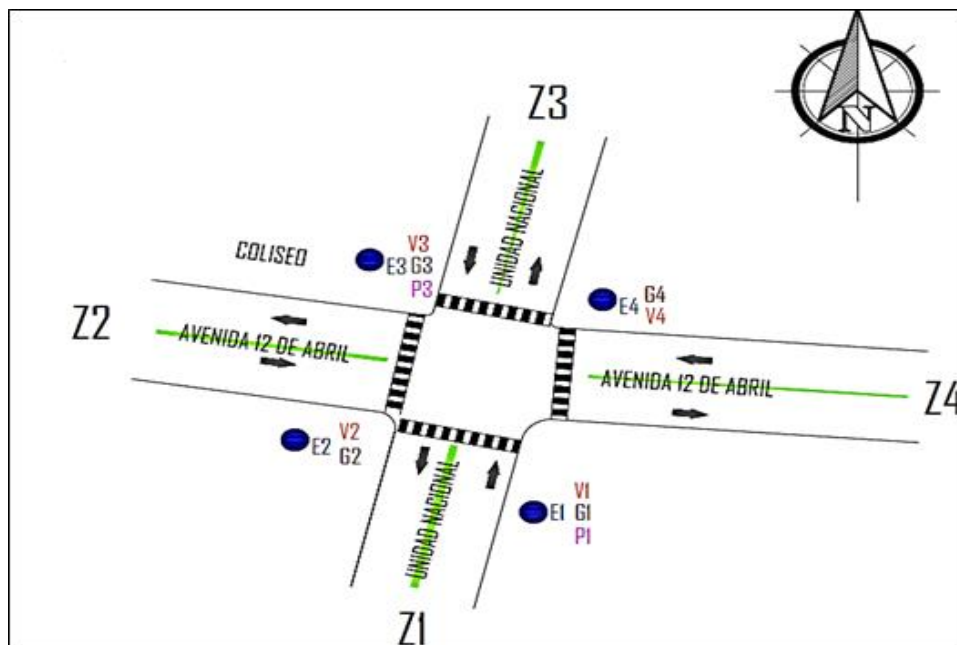


Figura 3.1. Esquema de distribución de estaciones en la intersección.



3.1.1 Estaciones y Aforos

Para la ejecución del conteo intervinieron un total de 10 personas, de las cuales: cuatro realizaron los conteos vehiculares clasificados (V1, V2, V3, V4), ubicados cada uno en una estación; de igual manera cuatro personas realizaron los conteos de giros (G1, G2, G3, G4), y finalmente dos personas hicieron los conteos peatonales (P1, P2), ubicados en las estaciones E1 y E3.

Cabe mencionar que las personas que realizaron los aforos vehiculares y peatonales fueron estudiantes de 7^{mo} Ciclo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, quienes antes de la realización del conteo tuvieron varias charlas informativas de cómo llevar los conteos, así también se realizó una visita previa de campo para organizar la distribución del trabajo.

3.1.2 Formularios para Aforos

Se utilizó tres tipos de formatos para los aforos, tanto para volúmenes vehiculares, para giros y para peatones, así todas las personas que realizaron el conteo tendrían un trabajo en específico con una guía estándar.

Como se mencionó anteriormente, el aforo vehicular se realizó por un lapso de 12 horas continuas con intervalos de 15 minutos. La Figura 3.2 muestra el encabezado del formulario para aforos vehiculares.

CONTEO VOLUMETRICO CLASIFICADO							
INTERSECCION: _____			ENCUESTADOR: _____				
ESTACION N°: _____			SENTIDO: N-S <input type="checkbox"/>		S-N <input checked="" type="checkbox"/>	E-W <input type="checkbox"/>	
Hora Inicio: _____			FECHA: _____				
Periodo cada 15 min	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			Motos	Bicicletas
			2 EJES	3 EJES	4 EJES O MAS		

Figura 3.2. Formato para aforos vehiculares.

Así también, para determinar qué sentido toman los carros se realizó un conteo de giros. Para ello se consideraron las maniobras de giros hacia la derecha y a la izquierda, para ello se consideró un conteo de 12 horas continuas con intervalos de 15 minutos. La Figura 3.3 muestra el encabezado utilizado para conteo de giros.

CONTEO CLASIFICADO DE GIROS DE TRAFICO											
INTERSECCION: _____			ENCUESTADOR: _____				FECHA: _____				
ESTACION N°: _____			SENTIDO: N-S <input type="checkbox"/>		S-N <input type="checkbox"/>	E-W <input type="checkbox"/>	W-E <input type="checkbox"/>	HORA DE INICIO: _____ HORA FINAL: _____			
Periodo cada 15 min	← HACIA LA IZQUIERDA.....					→ HACIA LA DERECHA.....					
	LIVIANOS		BUSES	CAMIONES			LIVIANOS		BUSES	CAMIONES	

Figura 3.3. Formato para aforos de giros.



Por último, la Figura 3.4 muestra el encabezado que se siguió para la realización del aforo para cruce peatonal, el cual también se realizó por un lapso de 12 horas con intervalos de 15 minutos.

CONTEO DE CRUCE PEATONAL												
INTERSECCION: _____				ENCUESTADOR: _____				FECHA: _____				
CALLE: _____				HORA DE INICIO: _____				HORA FIN: _____				
Periodo cada 15 Minutos	LADO IZQUIERDO						LADO DERECHO					
	N-S <input type="checkbox"/>		E-W <input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> W-E <input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> E-W <input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/> W-E <input type="checkbox"/>		
	Niños	Adultos	Discap.	Niños	Adultos	Discap.	Niños	Adultos	Discap.	Niños	Adultos	Discap.

Figura 3.4. Formato para aforo peatonal.

3.2 Levantamiento Topográfico

Se realizó la topografía a detalle de la intersección con una *Estación Total* marca Trimble proporcionada por la Universidad de Cuenca, para el uso correcto de este equipo se utilizó el manual de usuario [14]. Este equipo tiene una precisión de $\pm 3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ en distancia y un error angular de 5 segundos, se tomó los puntos con prisma, los mismos fueron georreferenciados con un GPS navegador.

Dentro de los elementos levantados en campo constan:

- Eje de la vía
- Eje de veredas
- Eje de parterre central
- Límites de predios urbanos
- Árboles
- Rejillas de cunetas
- Señalización
- Tapas de hormigón y acero para alcantarillado pluvial, sanitario y telecomunicaciones
- Postes de luz
- Paradas de buses

Se realizó un levantamiento topográfico con una longitud de 200 m en cada acceso de la intersección para así poder abarcar el área de influencia como lo establece el HCM 2010 [1]. En la Figura 3.5 muestra el esquema del estado actual con información obtenida del levantamiento topográfico.

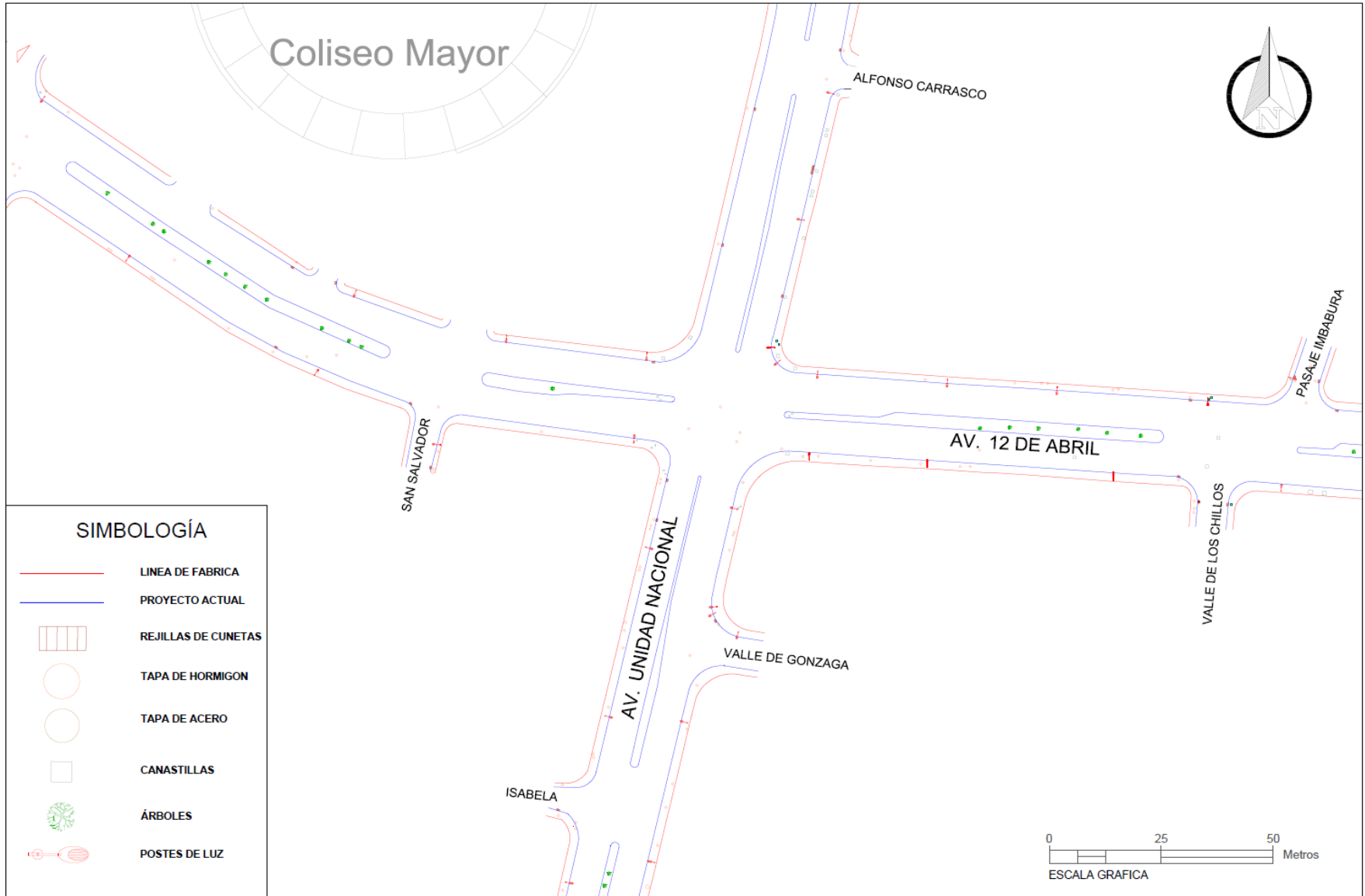


Figura 3.5. Estado actual de la Intersección.



3.3 Procesamiento de la Información de los Aforos Vehiculares

Luego de tener la información de campo, se realizó el procesamiento de estos datos mediante la herramienta Excel 2010, lo cual permitió realizar el análisis que se presenta a continuación.

3.3.1 Volumen de Tráfico

En el Anexo 1 se presentan los resultados tabulados del conteo en periodos de 15 minutos de cada estación. La Tabla 3.1 muestra la composición de los aforos vehiculares en la intersección, para la cual se ha incluido tanto bicicletas como motos:

Tabla 3.1. Composición de vehículos incluido bicicletas y motos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE
	(U)	(%)
LIVIANOS	33239	90.25
BUSES	1439	3.91
CAMIONES (2, 3 EJES)	646	1.66
MOTOS	1351	3.67
BICICLETAS	154	0.42

Así también, en la Tabla 3.2 se muestra la composición vehicular sin considerar bicicletas y motos:

Tabla 3. 2. Composición de vehículos sin bicicletas y motos.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PORCENTAJE
	(U)	(%)
LIVIANOS	33239	94.10
BUSES	1439	4.07
CAMIONES (2, 3 EJES)	646	1.83

La Tabla 3.3 muestra un resumen del conteo sin considerar bicicletas y motos, en un intervalo de una hora, mientras que la Figura 3.6, se indica que la hora de máxima demanda de la intersección es de 12H15 hasta 13H15 con un volumen de 3270 veh/h:



Tabla 3.3. Composición de vehículos sin bicicletas y motos cada hora.

CONTEO VOLUMÉTRICO CLASIFICADO						
INTERSECCION: Av. 12 de Abril y Av. Unidad Nacional			HORA INICIO: 07h00			
FECHA: Lunes, 07 de diciembre de 2015.			HORA FIN: 19h00			
INTERSECCIÓN SIN 2R						
Periodo (H)	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			TOTAL
			2 EJES	3 EJES	4 EJES O MAS	
7:00:00	2989	124	39	1	0	3153
8:00:00	2822	133	39	1	0	2995
9:00:00	2589	130	64	2	0	2785
10:00:00	2436	111	58	0	0	2605
11:00:00	2493	114	83	0	0	2690
12:00:00	3028	106	74	1	0	3209
13:00:00	2887	116	53	2	0	3058
14:00:00	2465	118	38	0	0	2621
15:00:00	2690	115	41	0	0	2846
16:00:00	2828	117	50	0	0	2995
17:00:00	2968	126	69	0	0	3163
18:00:00	3044	129	31	0	0	3204
TOTAL	33239	1439	639	7	0	35324
%	94.10	4.07	1.81	0.02	0.00	100.00

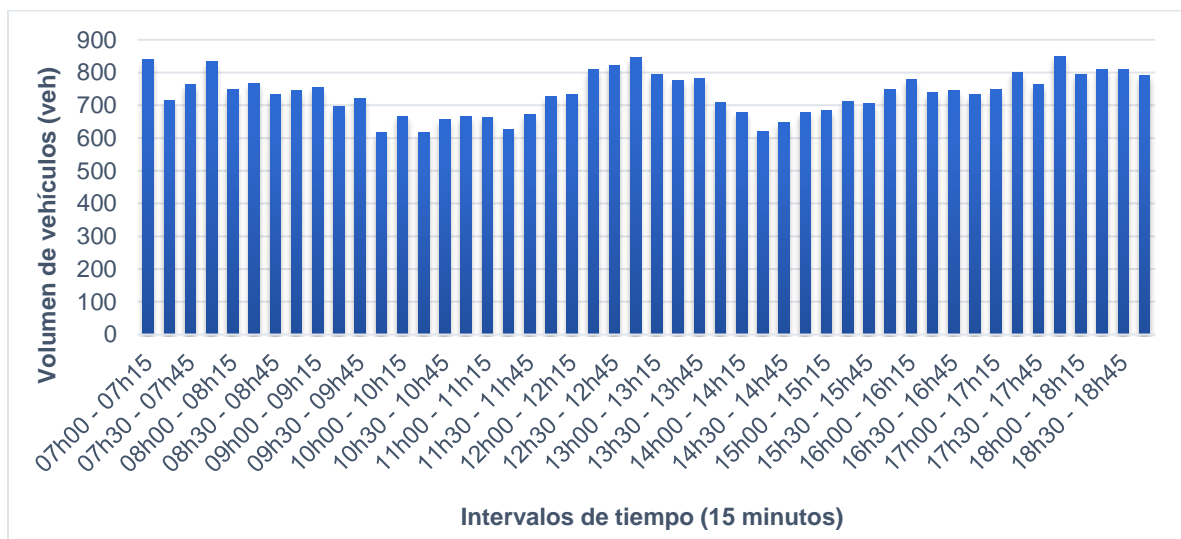


Figura 3. 6. Fluctuación horaria del tráfico en la intersección.



Con los datos obtenidos y procesados, se puede obtener varios factores necesarios para el estudio de la intersección, la Tabla 3.4 presenta los siguientes valores:

- *Tráfico promedio horario*: Es la relación entre la sumatoria total de vehículos livianos, buses y camiones que se muestra en la Tabla 3.3 para la duración del conteo (12 horas).
- *Volumen horario de máxima demanda*: Se refiere al mayor flujo vehicular horario del conteo de 12 horas, en el Anexo 1 se muestra el máximo valor obtenido de 3270 veh/h.
- *Cuarto de hora de máxima demanda (Q15 Max)*: Se refiere al mayor flujo vehicular en el intervalo pico de 15 minutos correspondiente a la hora de máxima demanda.
- *Factor de hora de máxima demanda*: Se calcula mediante la Ecuación (2-9) descrita en la sección 2.3.

Tabla 3. 4. Factores calculados para el estudio.

Tráfico promedio horario	2944	veh/h
Volumen horario de máxima demanda (12H15-13H15)	3270	veh/h
Q15 Max (12H45-13H00)	847	veh.
Factor de hora de máxima demanda	0,965	-

3.3.2 Giros en la Intersección

Al realizar el conteo de giros se puede determinar cuáles son los deseos básicos de movimientos, cuál es la demanda de traslado, de dónde vienen y hacia dónde se dirigen los usuarios. Además, con estos datos se obtiene la matriz de Origen – Destino, que se utiliza para conocer los flujos de cada hora entre los diferentes puntos analizados de entradas (E_i) y salida (S_i).

El conteo de giros se realizó de 07H00 a 19H00, de igual manera que el conteo volumétrico, se realizó el conteo de giros tanto a la derecha como a la izquierda desde las cuatro estaciones existentes.

Con los datos de volumen y giros se pudo obtener la matriz de origen-destino la cual se expresa en función del número y porcentaje de vehículos con lo cual se puede interpretar cuales son los accesos con mayores afluencias como se indica en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Matriz Origen – Destino (vehículos y porcentaje).

RESUMEN DE GIROS (VEHICULOS 07H00-19H00)					
O \ D	S1	S2	S3	S4	TOTAL
E1	-	2161 (22.67%)	5994 (62.87%)	1379 (14.46%)	9534 (100.00%)
E2	1221 (13.83%)	-	607 (6.88%)	7000 (79.29%)	8828 (100.00%)
E3	6637 (84.33%)	662 (8.41%)	-	571 (7.26%)	7870 (100.00%)
E4	2424 (26.66%)	6538 (71.91%)	130 (1.43%)	-	9092 (100.00%)

3.3.3 Zonificación de la Intersección

La zonificación de la intersección permite identificar cuáles son las zonas de mayor generación de viajes (orígenes), y cuáles son sus mayores zonas de atracción (destinos).

En la intersección se pudo identificar cinco zonas de estudio, las cuales fueron designadas de una manera general como se muestra en la Figura 3.7.

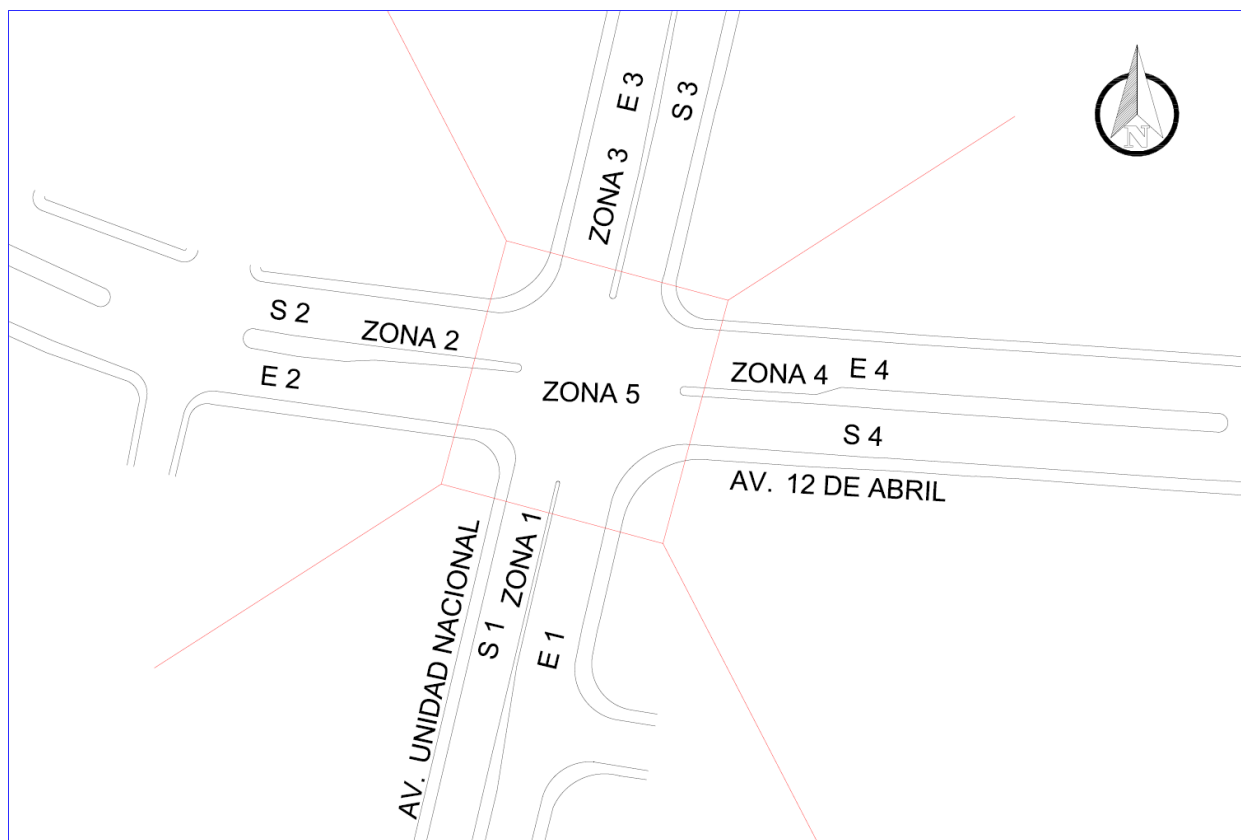


Figura 3. 7. Zonificación de la Intersección.



Líneas de Deseo:

Las líneas de deseo se obtienen a partir de la matriz O/D, estas son líneas escaladas; es decir, el grosor de línea depende de la cantidad de viajes que se realizan de una zona a otra. En otras palabras, se puede decir que, a mayor número de viajes mayor es el grosor de la línea de deseo. La Figura 3.8 muestra las líneas de deseo para la intersección en estudio.

Mediante las líneas de deseo se pueden determinar cuáles son los flujos principales en la intersección, estos resultados fueron considerados con vehículos livianos, buses y camiones (2E, 3E, Tráiler).

1. Viajes de Zona 2 a Zona 4: 7000 viajes.
2. Viajes de Zona 3 a Zona 1: 6637 viajes.
3. Viajes de Zona 4 a Zona 2: 6538 viajes.
4. Viajes de Zona 1 a Zona 3: 5994 viajes.

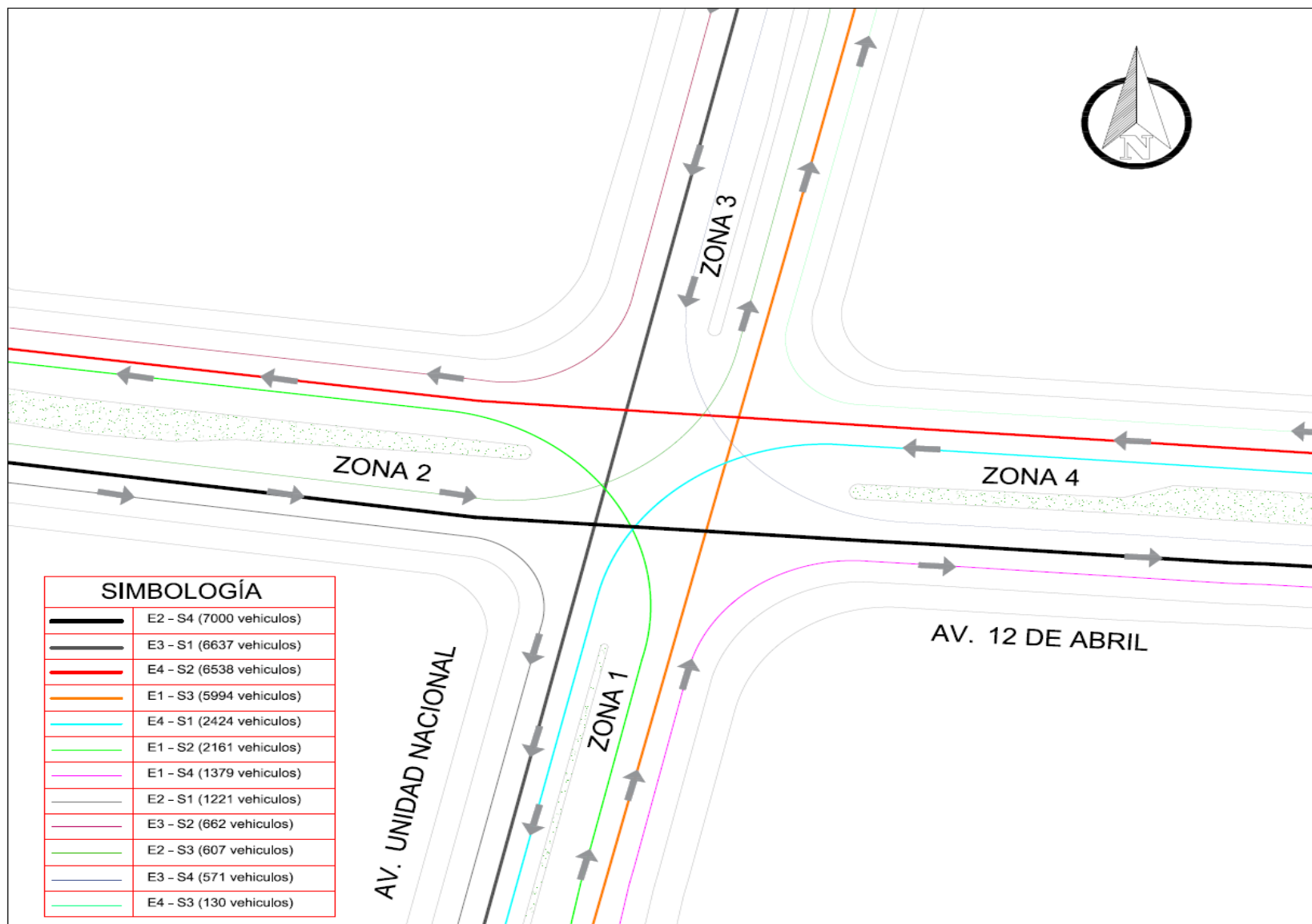


Figura 3.8. Líneas de Deseo de la intersección.



3.3.4 Aforos Peatonales

Los aforos peatonales se realizaron desde la estación 1 y 3 por un lapso de 12 horas (07H00-19H00). De la estación 1 se tomó el Este como derecha y el frente como Norte; así también para la estación 3, la derecha fue el Oeste y el frente fue el Sur. De esta forma se llenaron los formularios, haciendo una diferencia entre niños, adultos y discapacitados. En la Tabla 3.6 y en la Figura 3.9 se muestra el resumen los datos obtenidos del aforo peatonal:

Tabla 3. 6. Aforos peatonales de la intersección.

RESUMEN CRUCE PEATONAL (07H00 - 19H00)					
INTERSECCIÓN: N 1(Av. 12 de abril y Unidad Nacional)					
FECHA: Lunes, 07 de diciembre del 2015					
ESTACIÓN	SENTIDO	CRUCE PEATONAL			
		Niños	Adultos	Discapacitados	TOTAL
1	N-S y S-N	49	384	0	433
	W-E y E-W	133	528	0	661
3	N-S y S-N	77	334	0	1094
	W-E y E-W	75	267	0	342
TOTAL, INTERSECCIÓN		334	1513	0	1847

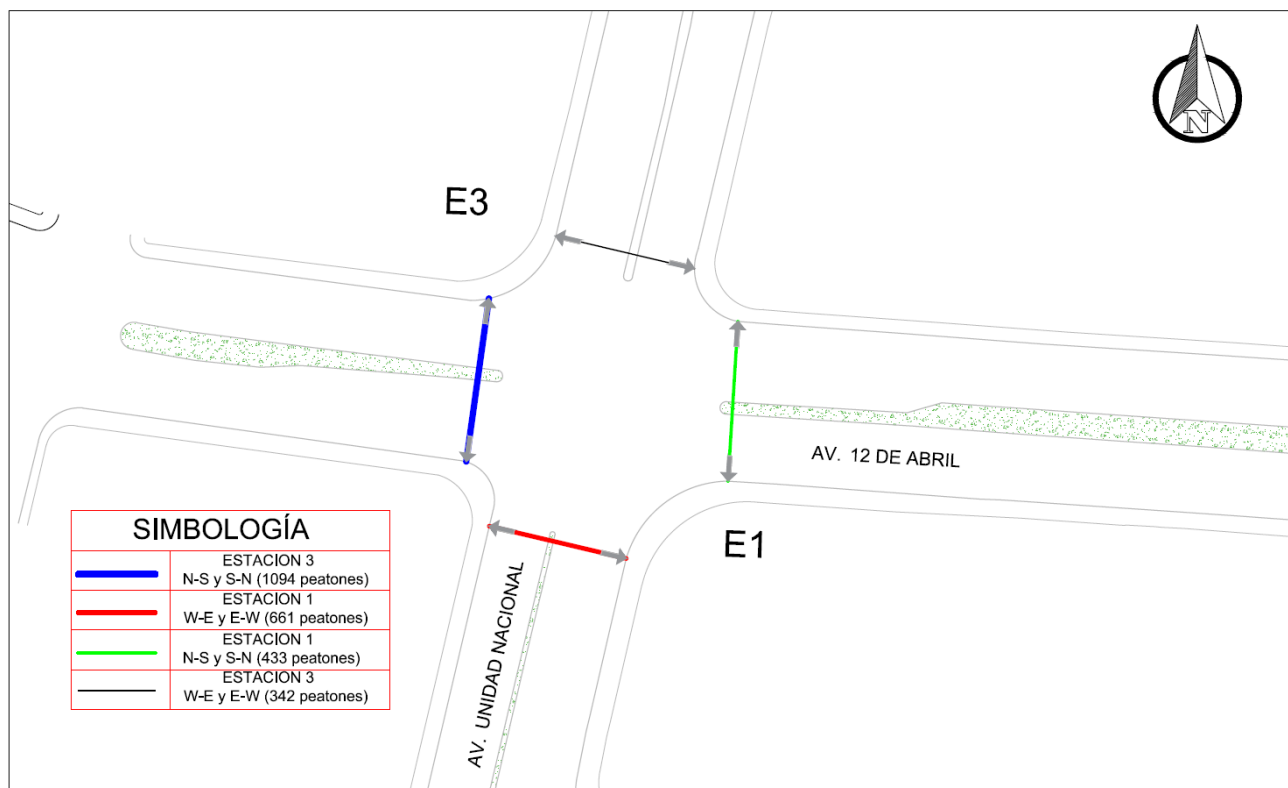


Figura 3.9. Líneas de deseo del flujo peatonal.



3.4 Cálculo del TPDA y sus Proyecciones

El cálculo del TPDA sigue la metodología descrita en el capítulo 2, sección 2.2, los datos relevantes para el cálculo de éste se presentarán como anexos y se describen a continuación:

- *Conteos Manuales*: Los datos obtenidos se muestran en el Anexo 1.
- *Conteos Automáticos*: Se proporcionó los conteos automáticos por parte de la Municipalidad de Cuenca del año 2015. Estos se muestran en el Anexo 2.
- *Registro de Censos Poblacionales*: Estos datos fueron descargados de la página oficial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [15] y se muestran en el Anexo 3.
- El Anexo 4 muestra las proyecciones de la población para la Provincia del Azuay, del Cantón Cuenca, y la Ciudad de Cuenca.
- *Registro de Combustibles*: Esta información se obtuvo a través de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH). Los resultados se muestran en el Anexo 5.

Con esta información se determinan los factores del TPDA como se indica en la sección 2.2, el resultado de éstos se muestra en la Tabla 3.7:

Tabla 3.7. Cálculo de factores para determinar el TPDA.

Factor Horario (F.H.)	1.261
Factor Diario (F.D.)	0.959
Factor Semanal (F.S)	1.107
Factor Mensual (F.M)	0.928
F. TOTAL	1.242

Luego de esto se debe realizar la proyección del TPDA, para ello se utiliza el modelo logístico descrito en la sección 2.2.1. La Tabla 3.8 presenta la tasa de crecimiento del parque automotor proyectada hasta el año 2037 y el Anexo 6 presenta la tabla con todo el cálculo realizado para obtener estos valores. La variación que existe en la tasa de crecimiento para los vehículos livianos se da puesto que se calcula en función del aumento de la población y del parque automotor; mientras que para las tasas de crecimiento de buses y camiones se mantiene constante ya que se considera únicamente el incremento de la población.

Tabla 3.8. Tasa de crecimiento del parque automotor.

PERIODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
	%	%	%
2017-2022	4.01	2.15	2.15
2022-2027	3.70	2.15	2.15
2027-2032	3.46	2.15	2.15
2032-2037	3.28	2.15	2.15



La Tabla 3.9 indica los valores con los cuales se ajustó el modelo logístico al modelo lineal, es decir, se obtuvo la tasa de saturación y los valores de las constantes a y b, con lo cual R^2 es más próximo a 1. La Figura 3.10 presenta el modelo logístico con su ajuste lineal.

Tabla 3. 9. Ajuste de la tasa de saturación y constantes a y b.

Ts	253
a	142.85
b	-0.071556

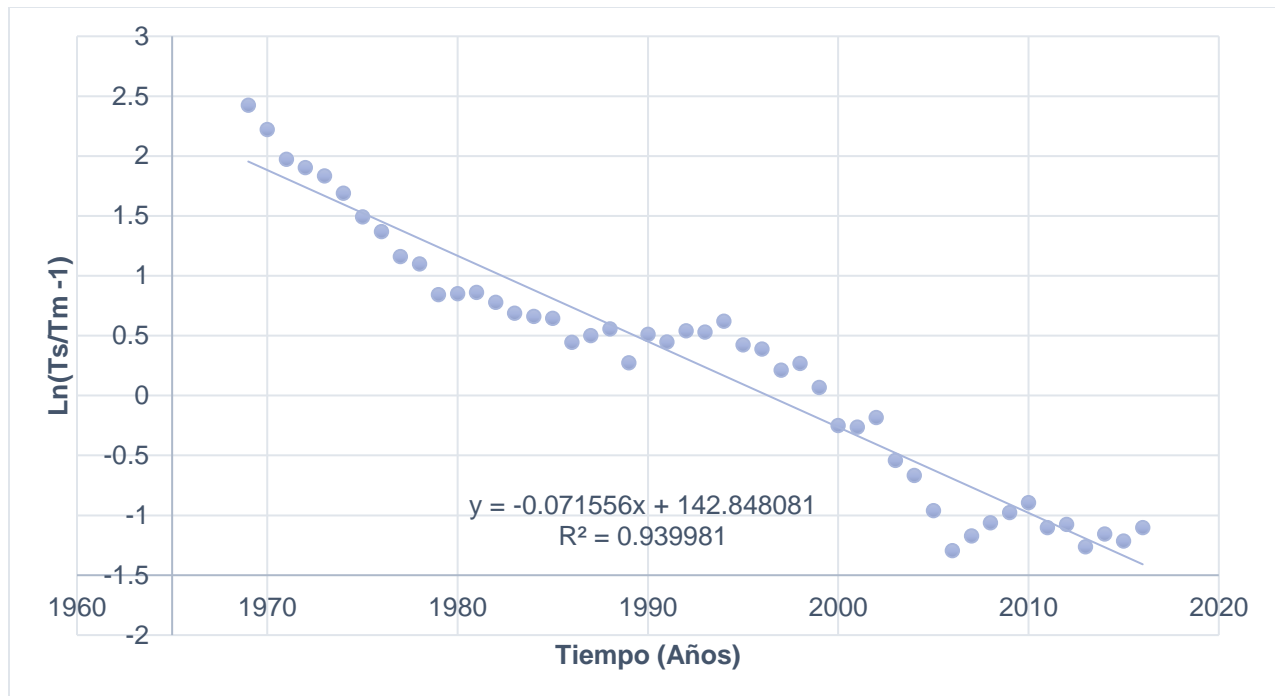


Figura 3. 10. Ajuste lineal para determinación de constantes a y b.

La Tabla 3.10 muestra un resumen del tráfico observado (T.O.) en el conteo realizado por un lapso de 12 horas, y la Tabla 3.11 indica el tráfico ajustado para el TPDA del año 2017.

Tabla 3.10. Tráfico observado (12 Horas).

Estación	E1	E2	E3	E4	INTERSECCIÓN
Livianos	8841	8458	7365	8575	33239
Buses	499	223	359	358	1439
Camiones 2E	193	146	142	158	639
Camiones 3E	1	1	4	1	7
TOTAL	9534	8828	7870	9092	35324



Tabla 3. 11. Tráfico ajustado para el TPDA del año 2017.

Estación	E1	E2	E3	E4	INTERSECCIÓN
Livianos	10977	10502	9145	10647	41270
Buses	620	277	446	445	1787
Camiones 2E	240	181	176	196	793
Camiones 3E	1	1	5	1	9
TOTAL	11838	10961	9772	11289	43859

3.5 Evaluación de la situación actual del tránsito en la intersección incluyendo el nivel de servicio

En esta sección se evalúa el tránsito para el estado actual con objetivo de proponer alternativas para mejorar el nivel de servicio de la intersección. Actualmente, la intersección se encuentra ubicada en un distrito central de negocios (*CBD*) y tiene cuatro accesos controlados por semáforos; un esquema de las condiciones actuales de cada brazo se muestra en la Figura 3.11. A continuación se detallan los parámetros de entrada para analizar la condición actual.

3.5.1 Parámetros de entrada

Con respecto a las condiciones geométricas los datos de entrada son:

- La Av. Unidad Nacional en el sentido Sur-Norte (E1) tiene un ancho total de 20.20 m, el mismo que está distribuido en 2 veredas de 2.10 m (sentido sur-norte) y 1.10 m (sentido norte-sur), un parterre de 0.55 m en la línea de parada y de 1.85 m por detrás de la bahía de giro a la izquierda, 3 carriles de entrada para el acceso E1 de 9.80 m de ancho y 2 carriles de salida para el acceso E3 de 7.65 m de ancho. Los 3 carriles de entrada para E1 están distribuidos en un carril de giro exclusivo protegido a la izquierda, un carril para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 3.25 m de ancho, pendiente descendente negativa de -1.08%, una longitud de la bahía de giro a la izquierda de 30.00 m. Los 2 carriles de salida para E3 están distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 3.80 m de ancho y pendiente descendente negativa de -0.07%.
- La Av. 12 de Abril en el sentido Oeste-Este (E2) tiene un ancho total de 21.80 m, el mismo que está distribuido en 2 veredas de 1.85 m (sentido oeste-este) y 1.85 m (sentido este-oeste), un parterre de 1.35 m en la línea de parada y de 3.00 m por detrás de la bahía de giro a la izquierda, 3 carriles de entrada para el acceso E2 de 9.25 m de ancho y 2 carriles de salida para el acceso E4 de 7.40 m de ancho. Los 3 carriles de entrada para E2 están distribuidos en un carril de giro exclusivo protegido a la izquierda, un carril para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 3.08 m de ancho, pendiente descendente negativa de -1.64%, una longitud de la bahía de giro a la izquierda de 23.00 m. Los 2 carriles de salida para E4 están distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 3.70 m de ancho y pendiente ascendente positiva de 2.74%.



- La Av. Unidad Nacional en el sentido Norte-Sur (E3) tiene un ancho total de 19.95 m, el mismo que está distribuido en 2 veredas de 1.90 m (sentido norte-sur) y 1.80 m (sentido sur-norte), un parterre de 1.00 m, 3 carriles de entrada para el acceso E3 de 8.40 m de ancho y 2 carriles de salida para el acceso E1 de 6.60 m de ancho. Los 3 carriles de entrada para E3 están distribuidos en un carril de giro exclusivo protegido a la izquierda, un carril para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 2.80 m de ancho, pendiente descendente negativa de -0.07%, una longitud de la bahía de giro a la izquierda de 27.00 m. Los 2 carriles de salida para E1 están distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 3.30 m de ancho y pendiente descendente negativa de -1.08%.
- La Av. 12 de Abril en el sentido Este-Oeste (E4) tiene un ancho total de 21.60 m, el mismo que está distribuido en 2 veredas de 1.65 m (sentido oeste-este) y 1.25 m (sentido este-oeste), un parterre de 1.40 m en la línea de parada y de 2.80 m por detrás de la bahía de giro a la izquierda, 3 carriles de entrada para el acceso E4 de 9.30 m de ancho y 2 carriles de salida para el acceso E2 de 8.00 m de ancho. Los 3 carriles de entrada para E4 están distribuidos en un carril de giro exclusivo protegido a la izquierda, un carril para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 3.10 m de ancho, pendiente ascendente positiva de 2.74%, una longitud de la bahía de giro a la izquierda de 23.00 m. Los 2 carriles de salida para E2 están distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 4.00 m de ancho y pendiente descendente negativa de -1.64%.
- No existe estacionamientos en una longitud menor a 80.00 m por detrás de la línea de parada.

Las condiciones del tránsito y de los semáforos son datos tomados en campo que fueron descritos a detalle en la sección 2.3.3.1 (Tabla 2.2). En la Tabla 3.12 se muestran todos los parámetros de entrada para la evaluación de la condición actual.

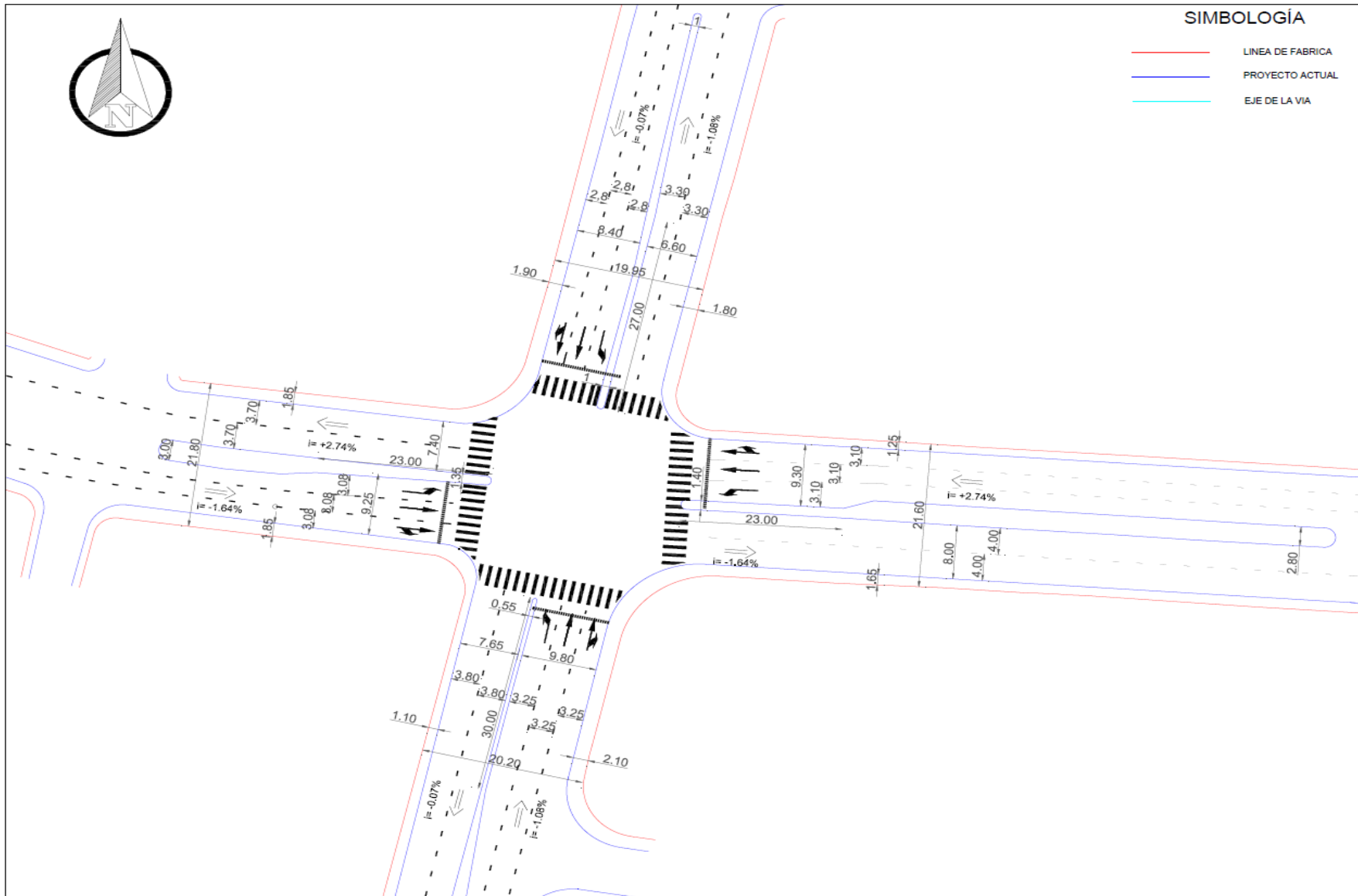


Figura 3.11. Esquema de la situación actual de la intersección.



Tabla 3.12. Parámetros de entrada para la evaluación de la condición actual.

Acceso	Condiciones geométricas							Estacionamientos			
	Tipo de área	Número de carriles, N	Ancho promedio de los carriles, W (m)	Pendiente, G (%)	Existencia de carriles exclusivos, LT o RT	Longitud de bahías, LT o RT, Ls (m)					
NORTE: E3	CBD	3	2,80	-0,07%	EXCLUSIVO LT	27,00	NO				
SUR: E1	CBD	3	3,25	-1,08%	EXCLUSIVO LT	30,00	NO				
ESTE: E4	CBD	3	3,10	2,74%	EXCLUSIVO LT	23,00	NO				
OESTE: E2	CBD	3	3,08	-1,64%	EXCLUSIVO LT	23,00	NO				
Acceso	Condiciones del tránsito										
	Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h)			Tasa de flujo de saturación base, So (vehículos livianos/h/carril)	Factor de la hora de máxima demanda, FHMD	Porcentaje de vehículos pesados, HV (%)	Tasa de flujo peatonal en el acceso, vped (peatones/h)	Autobuses locales que paran en la intersección, Nb (autobuses/h)	Actividades de estacionamiento, Nm (maniobras/h)	Tipo de llegadas, AT	Velocidad de aproximación, SA (Km/h)
	LT	TH	RT								
NORTE: E3	106	817	97	1900	0,965	2,19%	34	27	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
SUR: E1	269	673	109	1900	0,965	2,36%	84	38	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
ESTE: E4	278	779	11	1900	0,965	1,16%	80	0	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
OESTE: E2	108	664	149	1900	0,965	1,75%	39	0	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
Acceso	Condiciones de los semáforos										
	Longitud del ciclo, C (s)	Tiempo verde, movimiento directo G1 (s)	Tiempo verde, giro a la izquierda G2 (s)	Amarillo + Todo rojo, Y (s)	Operación accionada o prefijada	Verde mínimo peatonal, Gp (s)	Plan de fases	Periodo de análisis, T (h)			
NORTE: E3	150	50	20	5	Prefijada	10	4 fases	0,25			
SUR: E1	150	50	20	5	Prefijada	10	4 fases	0,25			
ESTE: E4	150	45	15	5	Prefijada	10	4 fases	0,25			
OESTE: E2	150	45	15	5	Prefijada	10	4 fases	0,25			



3.5.2 Cálculos para la evaluación de la condición actual

En el capítulo 2 se describió la metodología para el análisis de intersecciones semaforizadas a nivel operacional, partiendo de estos conceptos se procede a realizar los cálculos necesarios para la evaluación de la condición actual; el primer paso consiste en la obtención de la Matriz O-D proyectada al TPDA 2017 de la hora de máxima demanda, que se muestra en la Tabla 3.13 y que se calcula multiplicando la Matriz O-D resultante de la compatibilización de volúmenes, por los factores horario, diario, semanal y mensual descritos en el cálculo del TPDA.

Tabla 3.13. Matriz O-D proyectada al 2017 de la hora de máxima demanda (12H15-13H15).

O \ D	S1	S2	S3	S4	Total
E1	0	269	673	109	1051
E2	149	0	108	664	921
E3	817	97	0	106	1020
E4	278	779	11	0	1068
Total	1244	1145	792	879	4060

A partir de las Tablas 3.12 y 3.13 se procede a realizar los siguientes cálculos en base a los módulos que se describen a continuación:

- *Módulo de ajuste de volúmenes:* Realiza la agrupación de carriles y calcula la tasa de flujo de demanda V_p , a partir de la Ecuación 2.12 y de la Ecuación 2.13, respectivamente.
- *Módulo del flujo de saturación:* Calcula la tasa de flujo de saturación ajustado del grupo de carriles s_i , a partir de la Ecuación 2.14.
- *Módulo de análisis de capacidad:* Calcula la capacidad c_i y la relación volumen-capacidad X_i a partir de las Ecuaciones 2.33 y 2.34, respectivamente.
- *Módulo de nivel de servicio:* Determina la demora d y el nivel de servicio, a partir de la Ecuación 2.37 y de la Tabla 2.1.

En la Tabla 3.14 se muestran todos los cálculos realizados, para lo cual se utiliza la siguiente simbología:

- *EB:* sentido del flujo vehicular hacia el Este desde el acceso Oeste.
- *WB:* sentido del flujo vehicular hacia el Oeste desde el acceso Este.
- *NB:* sentido del flujo vehicular hacia el Norte desde el acceso Sur.
- *SB:* sentido del flujo vehicular hacia el Sur desde el acceso Norte.
- *LT:* movimiento de vuelta a la izquierda.
- *TH:* movimiento de frente o directo.
- *RT:* movimiento de vuelta a la derecha.



Tabla 3.14. Cálculo de los módulos de análisis para la condición actual.

Módulo de ajuste de volúmenes												
Accesos	OESTE: E2			ESTE: E4			SUR: E1			NORTE: E3		
Sentido del flujo vehicular	EB			WB			NB			SB		
Movimientos	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volúmenes: V (veh/h)	108	664	149	278	779	11	269	673	109	106	817	97
FHMD	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Flujo ajustado: Vp (veh/h)	112	688	154	288	807	11	279	697	113	110	847	101
Grupo de carriles	LT	TH, RT		LT	TH, RT		LT	TH, RT		LT	TH, RT	
Número de carriles: N	1	2		1	2		1	2		1	2	
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	112	842		288	819		279	810		110	947	
Módulo del flujo de saturación												
Flujo de saturación base: So (veh/h/carril)	1900	1900		1900	1900		1900	1900		1900	1900	
Factor de ajuste por ancho de carril: fw	0,94	0,94		0,93	0,93		0,91	0,91		0,91	0,91	
Factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	0,98	0,98		0,99	0,99		0,98	0,98		0,98	0,98	
Factor de ajuste por pendiente del acceso: fg	1,01	1,01		0,99	0,99		1,01	1,01		1,00	1,00	
Factor de ajuste por estacionamiento: fp	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00	
Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	0,92		1,00	0,95	
Factor de ajuste por tipo de área: fa	0,90	0,90		0,90	0,90		0,90	0,90		0,90	0,90	
Factor de ajuste por utilización del carril: flu	1,00	0,99		1,00	0,98		1,00	0,97		1,00	0,98	
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: flt	0,95	1,00		0,95	1,00		0,95	1,00		0,95	1,00	
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: frt	1,00	0,97		1,00	1,00		1,00	0,98		1,00	0,98	
Factor de ajuste izquierdo peatones: flpb	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00	
Factor de ajuste derecho peatones: frpb	1,00	0,99		1,00	0,98		1,00	0,98		1,00	1,00	
Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)	1511	3035		1481	2977		1463	2625		1449	2796	
Módulo de análisis de capacidad												
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_1		ϕ_2	ϕ_1		ϕ_4	ϕ_3		ϕ_4	ϕ_3	
Tipo de fase: P= prefijada, A= accionada	P	P		P	P		P	P		P	P	
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	112	842		288	819		279	810		110	947	
Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)	1511	3035		1481	2977		1463	2625		1449	2796	
Tiempo verde efectivo: gi (s)	14	44		14	44		19	49		19	49	
Relación de verde: gi/C	0,09	0,29		0,09	0,29		0,13	0,33		0,13	0,33	
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	136	880		133	863		190	866		188	923	
Relación volumen-capacidad: Xi=Vi/ci	0,82	0,96		2,17	0,95		1,47	0,94		0,59	1,03	
Relación de flujo: Xi=Vi/si	0,07	0,28		0,19	0,27		0,19	0,31		0,08	0,34	
Grupo de carriles críticos por fase: X		X			X			X			X	
Grado de saturación crítico: Xc	1,41											
Módulo de nivel de servicio												
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	112	842		288	819		279	810		110	947	
Relación de verde: gi/C	0,09	0,29		0,09	0,29		0,13	0,33		0,13	0,33	
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	136	880		133	863		190	866		188	923	
Relación volumen-capacidad: Xi=Vi/ci	0,82	0,96		2,17	0,95		1,47	0,94		0,59	1,03	
Demora uniforme: d1 (s/veh)	67,10	52,40		68,30	52,20		65,30	48,80		61,50	50,30	
Demora incremental: d2 (s/veh)	35,90	16,60		528,70	15,30		214,10	14,00		11,90	24,90	
Demora por cola inicial: d3 (s/veh)	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
Demora media por control de grupo: d (s/veh)	103,00	69,00		597,00	67,50		279,40	62,80		73,40	75,20	
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	E		F	E		F	E		E	E	
Demora por acceso: dA (s/veh)	73,00			205,40			118,30			75,00		
Nivel de servicio por acceso	E			F			F			E		
Demora en toda la intersección (s/veh)	120,00											
Nivel de servicio global de la intersección	F											



De los resultados obtenidos se confirma el colapso de la intersección ya que está en un nivel de servicio global *F*, que ocasiona una demora media a todos los vehículos de 120 segundos (2 minutos). La condición actual va a empeorar con los años, este deterioro progresivo se muestra en la Tabla 3.15, donde la demora a 20 años será de 600 segundos, equivalentes a 10 minutos por cada vehículo.

Tabla 3. 15. Progresión de las demoras y de los niveles de servicio.

ACCESO	TPDA 2017		TPDA 2022		TPDA 2027		TPDA 2032		TPDA 2037	
	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS
OESTE: E2	73,00	E	134,70	F	233,10	F	347,60	F	480,70	F
ESTE: E4	205,40	F	279,00	F	409,00	F	558,80	F	731,10	F
SUR: E1	118,30	F	203,60	F	320,40	F	453,70	F	611,50	F
NORTE: E3	75,00	E	159,10	F	268,60	F	393,00	F	541,80	F
GLOBAL	120,00	F	196,60	F	310,90	F	442,00	F	595,80	F

Para confirmar que los resultados obtenidos mediante cálculos manuales se utilizaron 2 programas; el primero es el macro-simulador Synchro 8 [9], que utiliza la misma metodología del HCM 2010 [1] y el segundo es Tritone 17 [10], un programa italiano que realiza micro-simulaciones del tránsito el cual utiliza varios modelos de análisis pero para el efecto de este trabajo se usaron los modelos: *Giofrè Avanzato* y *Gipps* por recomendación del creador del programa, el Ingeniero Civil especialista en transporte Giofrè Vincenzo Pasquale; los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 3.16 y 3.17, respectivamente.

Tabla 3.16. Resultados obtenidos en Synchro 8 [9].

Accesos	OESTE: E2		ESTE: E4		SUR: E1		NORTE: E3	
	EB	WB	NB	SB				
Sentido del flujo vehicular	LT	TH	LT	TH	LT	TH	LT	TH
Movimientos	112	847	290	822	280	815	110	952
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	1519	2908	1479	2950	1458	2662	1451	2673
Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3
Tipo de fase: P= prefijada, A= accionada	P	P	P	P	P	P	P	P
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	172	921	167	934	164	840	164	850
Relación volumen-capacidad: Xi=Vi/ci	0,65	0,92	1,74	0,88	1,71	0,97	0,67	1,12
Demora media por control de grupo: d	78,90	62,40	390,70	57,80	379,00	71,30	81,30	115,10
Nivel de servicio del grupo de carriles	E	E	F	E	F	E	F	F
Demora por acceso: dA (s/veh)	64,40		144,60		150,00		111,60	
Nivel de servicio por acceso	E		F		F		F	
Demora en toda la intersección	119,50							
Nivel de servicio global de la intersección	F							



En la Tabla 3.16 se puede confirmar que los resultados obtenidos son similares a los de la Tabla 3.14, ya que la demora total de la intersección varía en solo en 0.5 segundos. En el software Synchro 8 no se tiene un control sobre los factores que afectan la capacidad ya que son calculados directamente por el programa.

Tabla 3.17. Resultados obtenidos en Tritone 17 [10].

Resultados Obtenidos en Tritone 17: Modelo Giofrè Avanzato				
Accesos	OESTE: E2	ESTE: E4	SUR: E1	NORTE: E3
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Flujo del acceso: V_i (veh/h)	959	1112	1095	1062
Velocidad de circulación acceso i : V (Km/h)	29	29	29	29
Capacidad del acceso: c_i (veh/h)	1093	1101	1004	1014
Relación volumen-capacidad: $X_i=V_i/c_i$	0,88	1,01	1,09	1,05
Demora por acceso: dA (s/veh)	178,77	164,85	128,27	178,77
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	F	F	F
Demora en toda la intersección (s/veh)	162,03			
Nivel de servicio global de la intersección	F			
Emisiones de CO ₂ : (g/m)	66,90	67,70	77,10	66,60
Consumo de combustible: (l/km)	0,07	0,07	0,07	0,07
Índice de desaceleración: A.P.R.I (%)	27,70	32,40	30,90	37,40
Resultados Obtenidos en Tritone 17: Modelo Gipps				
Accesos	OESTE: E2	ESTE: E4	SUR: E1	NORTE: E3
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Flujo del acceso: V_i (veh/h)	959	1112	1095	1062
Velocidad de circulación acceso i : V (Km/h)	27	27	27	27
Capacidad del acceso: c_i (veh/h)	1029	877	914	1049
Relación volumen-capacidad: $X_i=V_i/c_i$	0,93	1,27	1,20	1,01
Demora por acceso: dA (s/veh)	98,44	103,20	96,30	95,50
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	F	F	F
Demora en toda la intersección (s/veh)	98,40			
Nivel de servicio global de la intersección	F			
Emisiones de CO ₂ : (g/m)	126,57	113,70	126,80	120,20
Consumo de combustible: (l/km)	0,07	0,07	0,07	0,07
Índice de seguridad: A.P.R.I (%)	12,90	14,40	14,10	16,10

En la Tabla 3.17 se puede observar que los resultados obtenidos con el modelo Giofrè Avanzato no son similares a los resultados de las Tablas 3.14 y 3.16 mientras que para el modelo de Gipps existe una diferencia de 20 segundos que se asemeja a los resultados obtenidos mediante cálculos manuales y con Synchro 8, la diferencia que existe se da principalmente porque los modelos de análisis son totalmente distintos, además en esta tabla se presentan resultados nuevos como son: la velocidad de circulación, las emisiones de CO₂, el consumo de combustible y el índice de seguridad.



En cuanto a las emisiones de CO_2 , en la Tabla 3.17 se muestran los totales por entrada en gramos de CO_2 por metro, al dividir estos valores para el flujo se puede observar que en todos los casos se supera el límite máximo permisible que es de es de 7.1 g/km/veh (0.0071 g/m/veh); además según la Tabla 2.8 la intersección se clasifica en un Nivel de Servicio enfocado a la seguridad de “Muy bueno” según el método Giofrè Avanzato y de “Excelente” según el método de Gipps.

Para completar el análisis de la situación actual se utilizó el programa INVEST, el cual califica el proyecto con una puntuación entre 0 y 210, en el estado actual la intersección obtuvo un puntaje de 26/210 lo que no le alcanza para clasificar como un proyecto sostenible ya que el puntaje mínimo para obtener el “*Proyecto Bronce*” es 63. Los resultados de esta clasificación se muestran en la Tabla 3.18 y el desglose de cada uno de los criterios se muestra en el Anexo 7.

Tabla 3.18. Resultados obtenidos en INVEST [12] para la alternativa 1.

INVEST v1.2 Operaciones y Mantenimiento (OM)					
Proyecto	Estado actual				
	Nota: Las puntuaciones de cada criterio, como suma de sus preguntas, llenan la hoja de trabajo de resumen automáticamente.	210	26	0	0
	Tal vez = Puntuación propuesta para este criterio, pero necesita información adicional antes de determinar una respuesta "sí" o "no". Por ejemplo, un equipo de proyecto puede necesitar consultar a expertos y / o personal adicional para confirmar si se han cumplido o no los requisitos de criterio antes de determinar el total de puntos.	Puntos	Si	Tal vez	No
OM-01	Plan de sostenibilidad interna - hasta 15 puntos	15	0	0	0
OM-02	Eficiencia y uso de la energía eléctrica - hasta 15 puntos	15	0	0	0
OM-03	Eficiencia y uso del combustible para vehículos - hasta 15 puntos	15	4	0	0
OM-04	Reducir, reutilizar y reciclar - hasta 15 puntos	15	4	0	0
OM-05	Gestión de seguridad - hasta 15 puntos	15	0	0	0
OM-06	Sistema de seguimiento de compromisos ambientales - hasta 15 puntos	15	4	0	0
OM-07	Sistema de gestión del pavimento - hasta 15 puntos	15	1	0	0
OM-08	Sistema de gestión de puentes - hasta 15 puntos	15	0	0	0
OM-09	Sistema de gestión de mantenimiento - hasta 15 puntos	15	4	0	0
OM-10	Preservación y mantenimiento de la infraestructura vial - hasta 15 puntos	15	4	0	0
OM-11	Mantenimiento de infraestructura de control de tráfico - hasta 15 puntos	15	2	0	0
OM-12	Programa de gestión del tiempo en las carreteras - hasta 15 puntos	15	0	0	0
OM-13	Gestión y operaciones de transporte - hasta 15 puntos	15	3	0	0
OM-14	Control de tráfico en la zona de trabajo: hasta 15 puntos	15	0	0	0

De los resultados obtenidos en la Tabla 3.15 se observa que la intersección colapsara en todos sus accesos en el 2022 ocasionando una demora media 3 minutos a cada uno de los vehículos y nivel de servicio F, por lo cual se recomienda realizar modificaciones geométricas a partir de este periodo donde ya es justificable la inversión económica.

3.6 Evaluación de las alternativas incluyendo la sostenibilidad.

Se ha planteado dos alternativas como solución para mejorar el nivel de servicio de la intersección, la evaluación de cada una de ellas se describe a continuación:

3.6.1 Alternativa 1

El diseño de esta alternativa consiste en aumentar la capacidad de todos los accesos de la intersección modificando la geometría para añadir un carril en cada uno de ellos como se muestra en la Figura 3.12, además de hacer un ajuste a la longitud del ciclo (cálculo del ciclo óptimo) para las condiciones finales. Las modificaciones geométricas se describen a continuación:

- En la Av. Unidad Nacional en el sentido Sur-Norte (E1) se añade un carril para el giro izquierdo, desplazando el parterre 0.20 m que se descontarán de los carriles de salida para el acceso E3 y que se suman al acceso E1 dando un ancho total de 10.00 m, cuya distribución es, dos carriles de giro exclusivo protegido a la izquierda, un carril para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 2.50 m de ancho y pendiente descendente negativa de -1.08%. Los 2 carriles de salida para E3 quedan distribuidos en tres carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 2.50 m de ancho y pendiente descendente negativa de -0.07%. La longitud de la bahía de giro a la izquierda cambia de tener una longitud de 30.00m a una de 60.00m por detrás de la línea de parada con el objetivo de aumentar el almacenamiento de vehículos.
- En la Av. 12 de Abril en el sentido Oeste-Este (E2) se añade un carril para el movimiento directo, movilizándolo el parterre 1.95 m que se descontarán de los carriles de salida para el acceso E4 y que se suman al acceso E2 dando un ancho total de 11.20 m, cuya distribución es, un carril de giro exclusivo protegido a la izquierda, dos carriles para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 2.80 m de ancho y pendiente descendente negativa de -1.64%. Los 2 carriles de salida para E4 quedan distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 2.72 m de ancho y pendiente ascendente positiva de 2.74%. La longitud de la bahía de giro a la izquierda cambia de tener una longitud de 23.00 m a una de 40.00 m por detrás de la línea de parada con el objetivo de aumentar el almacenamiento de vehículos.
- En la Av. Unidad Nacional en el sentido Norte-Sur (E3) se añade un carril para el movimiento directo, disminuyendo 0.40 m el ancho del parterre y desplazándolo 1.40 m que se descontarán de los carriles de salida para el acceso E1 y que se suman al acceso E3 dando un ancho total de 10.40 m, cuya distribución es, un carril de giro exclusivo protegido a la izquierda, dos carriles para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 2.60 m de ancho y pendiente descendente negativa de -0.07%. Los 2 carriles de salida para E1 quedan distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 2.60 m de ancho y pendiente



descendente negativa de -1.08%. La longitud de la bahía de giro a la izquierda cambia de tener una longitud de 27.00 m a una de 50.00 m por detrás de la línea de parada con el objetivo de aumentar el almacenamiento de vehículos.

- En la Av. 12 de Abril en el sentido Este-Oeste (E4) se añade un carril para el giro izquierdo, disminuyendo 0.90 m el ancho del parterre y desplazándolo 0.20 m que se descontarán de los carriles de salida para el acceso E2 y que se suman al acceso E1 dando un ancho total de 10.40 m, cuya distribución es, dos carriles de giro exclusivo protegido a la izquierda, un carril para movimiento directo y un carril compartido con movimiento directo y giro permitido a la derecha, cada uno de estos tiene 2.60 m de ancho y pendiente ascendente positiva de 2.74%. Los 2 carriles de salida para E2 quedan distribuidos en dos carriles para movimiento directo, cada uno de estos tiene 2.60 m de ancho y pendiente descendente negativa de -1.64%. La longitud de la bahía de giro a la izquierda cambia de tener una longitud de 23.00 m a una de 70.00 m por detrás de la línea de parada con el objetivo de aumentar el almacenamiento de vehículos.
- No se realizaron reducciones en el ancho de las veredas ya que la intersección está cerca de una zona en donde se realizan de eventos masivos (Coliseo Mayor) y una disminución podría generar problemas en el flujo peatonal.

El cálculo de los tiempos que se necesita ingresar para condiciones de los semáforos se calculó en base a la sección 2.4.1.3 en donde se detalla la metodología para obtener todos los datos necesarios, estos cálculos se muestran en la Tabla 3.19. En la tabla 3.20 se muestran los parámetros de entrada para alternativa 1.

Tabla 3.19. Cálculo de los tiempos del semáforo.

Fase	ϕ	1	2	3	4
Amarillo	A	3	3	3	3
Todo rojo	TR1	2	2	3	3
Tiempo perdido por fase	li	5	5	6	6
Tiempo perdido por ciclo	L	22			
Máximas relaciones del flujo actual a flujo de saturación	Y	0,08	0,22	0,08	0,22
Longitud del ciclo a utilizar	C	95,00			
Tiempo verde efectivo total	gT	73,00			
Reparto de los tiempos verdes efectivos	gi	10	20	10	27
Determinación de los tiempos verdes reales	Gi	10	20	10	27

A partir de la las Tablas 3.13 y 3.20 se procede a realizar los siguientes cálculos en base a los módulos descritos en la sección 3.5.2. En la Tabla 3.21 se muestran todos los cálculos realizados para la alternativa 1.

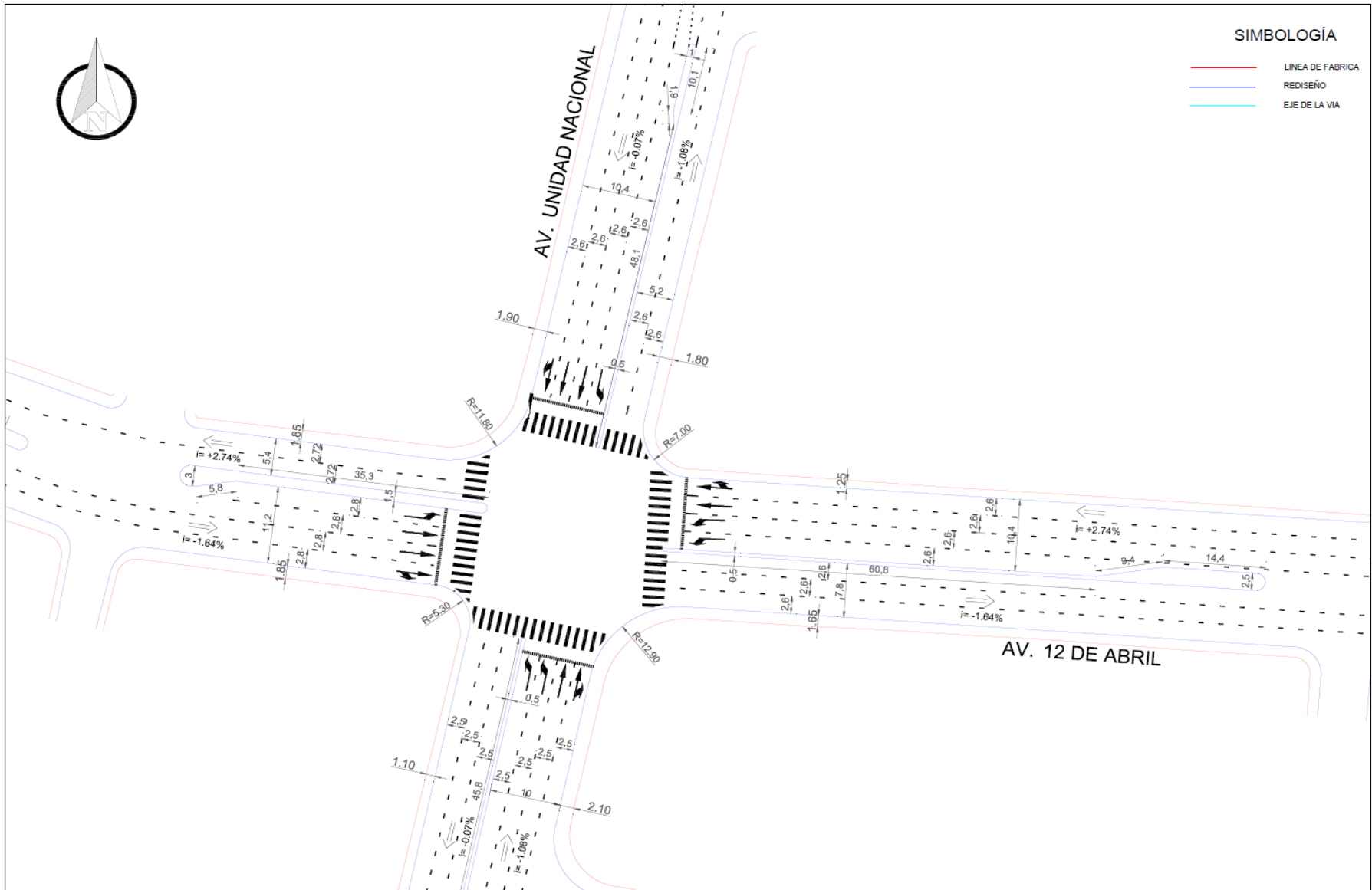


Figura 3.12. Esquema de la Alternativa 1.



Tabla 3. 20. Parámetros de entrada para la alternativa 1.

Acceso	Condiciones geométricas										
	Tipo de área	Número de carriles, N	Ancho promedio de los carriles, W (m)	Pendiente, G (%)	Existencia de carriles exclusivos, LT o RT	Longitud de bahías, LT o RT, Ls (m)	Estacionamientos				
NORTE: E3	CBD	4	2,60	-0,07%	EXCLUSIVO LT	50,00	NO				
SUR: E1	CBD	4	2,50	-1,08%	2 EXCLUSIVOS LT	60,00	NO				
ESTE: E4	CBD	4	2,60	2,74%	2 EXCLUSIVOS LT	70,00	NO				
OESTE: E2	CBD	4	2,80	-1,64%	EXCLUSIVO LT	40,00	NO				
Acceso	Condiciones del tránsito										
	Volumen de demanda por movimiento, V (veh/h)			Tasa de flujo de saturación base, So (vehículos livianos/h/carril)	Factor de la hora de máxima demanda, FHMD	Porcentaje de vehículos pesados, HV (%)	Tasa de flujo peatonal en el acceso, vped (peatones/h)	Autobuses locales que paran en la intersección, Nb (autobuses/h)	Actividades de estacionamiento, Nm (maniobras/h)	Tipo de llegadas, AT	Velocidad de aproximación, SA (Km/h)
	LT	TH	RT								
NORTE: E3	106	817	97	1900	0,965	2,19%	34	27	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
SUR: E1	269	673	109	1900	0,965	2,36%	84	38	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
ESTE: E4	278	779	11	1900	0,965	1,16%	80	0	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
OESTE: E2	108	664	149	1900	0,965	1,75%	39	0	0	Tipo 3 (Rp=1)	50
Acceso	Condiciones de los semáforos										
	Longitud del ciclo, C (s)	Tiempo verde, movimiento directo G1 (s)	Tiempo verde, giro a la izquierda G2 (s)	Amarillo + Todo rojo, Y (s)	Operación accionada o prefijada	Verde mínimo peatonal, Gp (s)	Plan de fases	Periodo de análisis, T (h)			
NORTE: E3	95	27	10	6	Prefijada	10	4 fases	0,25			
SUR: E1	95	27	10	6	Prefijada	10	4 fases	0,25			
ESTE: E4	95	20	10	5	Prefijada	10	4 fases	0,25			
OESTE: E2	95	20	10	5	Prefijada	10	4 fases	0,25			



Tabla 3.21. Cálculo de los módulos de análisis para la alternativa 1.

Módulo de ajuste de volúmenes												
Accesos	OESTE: E2			ESTE: E4			SUR: E1			NORTE: E3		
Sentido del flujo vehicular	EB			WB			NB			SB		
Movimientos	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volúmenes: V (veh/h)	108	664	149	278	779	11	269	673	109	106	817	97
FHMD	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965	0,965
Flujo ajustado: Vp (veh/h)	112	688	154	288	807	11	279	697	113	110	847	101
Grupo de carriles	LT	TH, RT		LT	TH, RT		LT	TH, RT		LT	TH, RT	
Número de carriles: N	1	3		2	2		2	2		1	3	
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	112	842		288	818		279	810		110	948	
Módulo del flujo de saturación												
Flujo de saturación base: So (veh/h/carril)	1900	1900		1900	1900		1900	1900		1900	1900	
Factor de ajuste por ancho de carril: fw	0,92	0,92		0,92	0,92		0,90	0,90		0,89	0,89	
Factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	0,98	0,98		0,99	0,99		0,98	0,98		0,98	0,98	
Factor de ajuste por pendiente del acceso: fg	1,01	1,01		0,99	0,99		1,01	1,01		1,00	1,00	
Factor de ajuste por estacionamiento: fp	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00	
Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	0,92		1,00	0,96	
Factor de ajuste por tipo de área: fa	0,90	0,90		0,90	0,90		0,90	0,90		0,90	0,90	
Factor de ajuste por utilización del carril: flu	1,00	1,22		1,00	1,01		1,00	1,16		1,00	0,98	
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: flt	0,95	1,00		0,95	1,00		0,95	1,00		0,95	1,00	
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: frt	1,00	0,97		1,00	1,00		1,00	0,98		1,00	0,98	
Factor de ajuste izquierdo peatones: flpb	1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00		1,00	1,00	
Factor de ajuste derecho peatones: frpb	1,00	0,99		1,00	0,98		1,00	0,98		1,00	1,00	
Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)	1479	5526		2930	3066		2894	3111		1417	4145	
Módulo de análisis de capacidad												
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_1		ϕ_2	ϕ_1		ϕ_4	ϕ_3		ϕ_4	ϕ_3	
Tipo de fase: P= prefijada, A= accionada	P	P		P	P		P	P		P	P	
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	112	842		288	818		279	810		110	948	
Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)	1479	5526		2930	3066		2894	3111		1417	4145	
Tiempo verde efectivo: gi (s)	9	19		9	19		9	26		9	26	
Relación de verde: gi/C	0,15	0,31		0,15	0,31		0,15	0,31		0,15	0,31	
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	222	1713		440	950		434	964		213	1285	
Relación volumen-capacidad: Xi=Vi/ci	0,50	0,49		0,65	0,86		0,64	0,84		0,52	0,74	
Relación de flujo: Xi=Vi/si	0,08	0,15		0,10	0,27		0,10	0,26		0,08	0,23	
Grupo de carriles críticos por fase: X		X			X			X			X	
Grado de saturación crítico: Xc	1,18											
Módulo de nivel de servicio												
Flujo del grupo: Vi (veh/h)	112	842		288	818		279	810		110	948	
Relación de verde: gi/C	0,15	0,31		0,15	0,31		0,15	0,31		0,15	0,31	
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	222	1713		440	950		434	964		213	1285	
Relación volumen-capacidad: Xi=Vi/ci	0,50	0,49		0,65	0,86		0,64	0,84		0,52	0,74	
Demora uniforme: d1 (s/veh)	37,10	26,70		38,00	30,80		38,00	30,60		37,20	29,30	
Demora incremental: d2 (s/veh)	7,20	0,90		6,30	7,90		6,10	6,90		8,10	3,30	
Demora por cola inicial: d3 (s/veh)	0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00		0,00	0,00	
Demora media por control de grupo: d (s/veh)	44,30	27,60		44,30	38,70		44,10	37,50		45,30	32,60	
Nivel de servicio del grupo de carriles	D	C		D	D		D	D		D	C	
Demora por acceso: dA (s/veh)	29,60			40,20			39,20			33,90		
Nivel de servicio por acceso	C			D			D			C		
Demora en toda la intersección (s/veh)	36,00											
Nivel de servicio global de la intersección	D											



De la Tabla 3.21 se observa que la demora es de 36.00 segundos que es la cuarta parte del estado actual, además el nivel de servicio global es *D*, el cual va a verse afectado con los años, este deterioro progresivo se muestra en la Tabla 3.22, donde la demora a 20 años será de 226 segundos, equivalentes a 4 minutos por cada vehículo y la intersección alcanzará un estado similar al actual en 15 años.

Tabla 3.22. Progresión de las demoras y de los niveles de servicio para la alternativa 1.

ACCESO	TPDA 2017		TPDA 2022		TPDA 2027		TPDA 2032		TPDA 2037	
	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS
OESTE: E2	29,60	C	41,40	D	45,90	D	51,90	D	60,70	E
ESTE: E4	40,20	D	59,10	E	108,70	F	203,00	F	310,40	F
SUR: E1	39,20	D	53,90	D	86,50	F	176,20	F	281,60	F
NORTE: E3	33,90	C	47,10	D	56,20	E	121,50	F	213,60	F
GLOBAL	36,00	D	51,00	D	76,30	E	143,60	F	226,40	F

Los resultados obtenidos con el macro-simulador Synchro 8 y con Tritone 17 se muestran en las Tablas 3.23 y 3.24, respectivamente.

Tabla 3. 23. Resultados obtenidos en Synchro 8 [9] para la alternativa 1.

Accesos	OESTE: E2		ESTE: E4		SUR: E1		NORTE: E3	
	EB		WB		NB		SB	
Movimientos	LT	TH	LT	TH	LT	TH	LT	TH
Flujo del grupo: V_i (veh/h)	112	847	290	822	280	815	110	952
Flujo de saturación ajustado: S_i (veh/h/carril)	1501	4263	2869	2957	2795	2772	1416	3831
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3
Tipo de fase: P= prefijada, A= accionada	P	P	P	P	P	P	P	P
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	287	1081	537	758	280	649	143	898
Relación volumen-capacidad: $X_i=V_i/c_i$	0,39	0,64	0,54	1,07	1,00	1,08	0,77	1,06
Demora media por control de grupo: d	36,80	32,90	37,10	87,80	96,60	94,70	74,80	83,60
Nivel de servicio del grupo de carriles	D	C	D	F	F	F	E	F
Demora por acceso: d_A (s/veh)	33,40		74,50		95,20		82,70	
Nivel de servicio por acceso	C		E		F		F	
Demora en toda la intersección (s/veh)	73,50							
Nivel de servicio global de la intersección	E							



Tabla 3.24. Resultados obtenidos en Tritone 17 [10] para la alternativa 1.

Resultados Obtenidos en Tritone 17: Modelo Giofrè Avanzato				
Accesos	OESTE: E2	ESTE: E4	SUR: E1	NORTE: E3
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Flujo del acceso: V_i (veh/h)	804	1101	981	1062
Velocidad de circulación acceso i : V (Km/h)	30	30	30	30
Capacidad del acceso: c_i (veh/h)	1368	1295	929	1041
Relación volumen-capacidad: $X_i=V_i/c_i$	0,59	0,85	1,06	1,02
Demora por acceso: dA (s/veh)	75,10	80,30	105,30	102,60
Nivel de servicio del grupo de carriles	E	F	F	F
Demora en toda la intersección (s/veh)	91,45			
Nivel de servicio global de la intersección	F			
Emisiones de CO_2 : (g/m)	28,50	31,20	43,80	36,00
Consumo de combustible: (l/km)	0,06	0,06	0,06	0,06
Índice de desaceleración: A.P.R.I (%)	26,00	26,80	29,90	36,20
Resultados Obtenidos en Tritone 17: Modelo Gipps				
Accesos	OESTE: E2	ESTE: E4	SUR: E1	NORTE: E3
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Flujo del acceso: V_i (veh/h)	804	1101	981	1062
Velocidad de circulación acceso i : V (Km/h)	28	28	28	28
Capacidad del acceso: c_i (veh/h)	1398	1115	1030	1049
Relación volumen-capacidad: $X_i=V_i/c_i$	0,58	0,99	0,95	1,01
Demora por acceso: dA (s/veh)	45,20	41,50	35,10	37,90
Nivel de servicio del grupo de carriles	D	D	D	D
Demora en toda la intersección (s/veh)	39,69			
Nivel de servicio global de la intersección	D			
Emisiones de CO_2 : (g/m)	63,30	56,90	64,00	59,80
Consumo de combustible: (l/km)	0,06	0,06	0,06	0,06
Índice de seguridad: A.P.R.I (%)	11,50	14,00	12,70	13,40

Tomando como referencia los resultados obtenidos en el análisis de la situación actual se llega a adoptar como reales a los valores obtenidos mediante cálculos manuales de las Tabla 3.14 y 3.15, ya que se realizó una comprobación en campo de las demoras las cuales coinciden con los valores antes mencionados. Bajo esta referencia se puede decir que los resultados obtenidos en Synchro 8 para la alternativa 1 no reflejan valores similares a los de la Tabla 3.21, razón por la cual no se consideran validos en la solución. En cuanto a los resultados obtenidos en Tritone 17, el modelo de Gipps es con el cual se obtienen resultados similares a los obtenidos en Excel ya que su variación es de tan solo 4 segundos.

En cuanto a las emisiones de CO_2 , en la Tabla 3.24 se muestran los totales por entrada en gramos de CO_2 por metro, al dividir estos valores para el flujo se observa que en todos los casos se supera el límite máximo permisible que es de es de 7.1 g/km/veh (0.0071



g/m/veh); además según la Tabla 2.8 la intersección se clasifica en un Nivel de Servicio enfocado a la seguridad de “Muy bueno-Aceptable” según el método Giofrè Avanzato y de “Excelente” según el método de Gipps.

Para completar esta alternativa se utilizó el programa INVEST como una forma de verificar la factibilidad desde el punto de vista de la sostenibilidad, los resultados de esta clasificación se muestran en la Tabla 3.25.

Tabla 3. 25. Resultados obtenidos en INVEST [12] para las alternativa 1 y 2.

INVEST v1.2 Operaciones y Mantenimiento (OM)					
Proyecto	Alternativa 1 y 2				
	Nota: Las puntuaciones de cada criterio, como suma de sus preguntas, llenan la hoja de trabajo de resumen automáticamente.	210	92	0	0
	Tal vez = Puntuación propuesta para este criterio, pero necesita información adicional antes de determinar una respuesta "sí" o "no". Por ejemplo, un equipo de proyecto puede necesitar consultar a expertos y / o personal adicional para confirmar si se han cumplido o no los requisitos de criterio antes de determinar el total de puntos.	Puntos	Si	Tal vez	No
<u>OM-01</u>	Plan de sostenibilidad interna - hasta 15 puntos	15	10	0	0
<u>OM-02</u>	Eficiencia y uso de la energía eléctrica - hasta 15 puntos	15	5	0	0
<u>OM-03</u>	Eficiencia y uso del combustible para vehículos - hasta 15 puntos	15	9	0	0
<u>OM-04</u>	Reducir, reutilizar y reciclar - hasta 15 puntos	15	10	0	0
<u>OM-05</u>	Gestión de seguridad - hasta 15 puntos	15	7	0	0
<u>OM-06</u>	Sistema de seguimiento de compromisos ambientales - hasta 15 puntos	15	9	0	0
<u>OM-07</u>	Sistema de gestión del pavimento - hasta 15 puntos	15	1	0	0
<u>OM-08</u>	Sistema de gestión de puentes - hasta 15 puntos	15	0	0	0
<u>OM-09</u>	Sistema de gestión de mantenimiento - hasta 15 puntos	15	7	0	0
<u>OM-10</u>	Preservación y mantenimiento de la infraestructura vial - hasta 15 puntos	15	7	0	0
<u>OM-11</u>	Mantenimiento de infraestructura de control de tráfico - hasta 15 puntos	15	5	0	0
<u>OM-12</u>	Programa de gestión del tiempo en las carreteras - hasta 15 puntos	15	6	0	0
<u>OM-13</u>	Gestión y operaciones de transporte - hasta 15 puntos	15	11	0	0
<u>OM-14</u>	Control de tráfico en la zona de trabajo: hasta 15 puntos	15	5	0	0



De los resultados obtenidos en la Tabla 3.25, la alternativa 1 es sostenible ya que tiene un puntaje de 92/210 que la clasifica como un “Proyecto Plata”.

3.6.2 Alternativa 2

La alternativa 2 plantea las mismas modificaciones geométricas que la alternativa 1 como se muestra en la Figura 3.12; la diferencia es que esta usa semáforos accionados por el tránsito para optimizar al máximo el ciclo. Para los semáforos accionados por el tránsito la principal condicionante es la ubicación de los detectores, los cuales se disponen de la siguiente manera:

- Se utilizan 2 detectores de inducción de 0.50 m, para cada uno de los carriles.
- El primer detector se ubica justo por detrás de la línea de parada con la finalidad de ceder el paso y mantener la fase de verde para los vehículos que estén a punto de cruzar la intersección.
- El segundo detector está ubicado 15 m por detrás de línea de parada, esta distancia está dispuesta de manera que los vehículos que la crucen tengan un tiempo de 3 segundos antes del cambio de fase y no tengan que hacer un frenado repentino que puede originar accidentes.

Para modelar esta alternativa solo se utilizó el programa Synchro 8 y no se realizaron cálculos manuales debido a la constante variabilidad de los ciclos como consecuencia de las fluctuaciones del tránsito, esto genera una gran cantidad de resultados, lo cual dificulta la modelación en Excel. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.26.

Tabla 3. 26.Resultados obtenidos en Synchro 8 [9] para la alternativa 2.

Accesos	OESTE: E2		ESTE: E4		SUR: E1		NORTE: E3	
Sentido del flujo vehicular	EB		WB		NB		SB	
Movimientos	LT	TH	LT	TH	LT	TH	LT	TH
Flujo del grupo: V_i (veh/h)	112	847	290	822	280	815	110	952
Flujo de saturación ajustado: S_i (veh/h/carril)	1501	4263	2869	2957	2795	2772	1416	3831
Número de la fase: ϕ_i	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_1	ϕ_4	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_3
Tipo de fase: P= prefijada, A= accionada	P	P	P	P	P	P	P	P
Capacidad del grupo de carriles: c_i (veh/h)	287	1081	537	758	280	649	143	898
Relación volumen-capacidad: $X_i=V_i/c_i$	0,39	0,64	0,54	1,07	1,00	1,08	0,77	1,06
Demora media por control de grupo: d	36,80	32,90	37,10	87,80	96,60	94,70	74,80	83,60
Nivel de servicio del grupo de carriles	D	C	D	F	F	F	E	F
Demora por acceso: dA (s/veh)	33,40		74,50		95,20		82,70	
Nivel de servicio por acceso	C		E		F		F	
Demora en toda la intersección (s/veh)	73,50							
Nivel de servicio global de la intersección	E							



Los resultados para las proyecciones de las demoras y los niveles de servicio para 20 años se muestran en la Tabla 3.27. Se observa que la demora es de 73.50 segundos que es la mitad del estado actual y la demora a 20 años será de 306.70 segundos, equivalentes a 5 minutos por cada vehículo; la intersección alcanzará un estado similar al actual en 10 años. El análisis de la sostenibilidad es el mismo que para la alternativa 1 y los resultados se muestran en la Tabla 3.25.

Tabla 3.27. Progresión de las demoras y de los niveles de servicio para la alternativa 2.

ACCESO	TPDA 2017		TPDA 2022		TPDA 2027		TPDA 2032		TPDA 2037	
	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS	Demora (s/veh)	LOS
OESTE: E2	33.40	C	45.70	D	55.40	E	67.40	E	116.50	F
ESTE: E4	74.50	E	91.70	F	157.00	F	254.00	F	373.60	F
SUR: E1	95.20	F	98.40	F	167.10	F	256.90	F	363.30	F
NORTE: E3	82.70	F	81.60	F	143.70	F	228.90	F	328.90	F
GLOBAL	73.50	E	81.30	F	135.30	F	210.00	F	306.70	F

Con semáforos accionados por el tránsito se esperaría obtener resultados similares a los de la alternativa 1, puesto que además de las modificaciones geométricas, con este tipo de semáforos se optimiza al máximo cada ciclo, logrando mejorar el rendimiento de la intersección no solo para la hora pico sino también para distintas horas del día. Esto no ocurre en el análisis de la alternativa 2, puesto que el programa adopta valores por defecto (factores de ajuste de la capacidad), que no están calibrados a las condiciones locales lo que afecta en la obtención de los resultados.



CAPÍTULO 4

1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza una comparación de los resultados más importantes de las 2 alternativas planteadas, lo cual servirá para escoger a la mejor alternativa desde el punto de vista de la relación Volumen-Capacidad, demoras, nivel de servicio, emisiones de CO₂, consumo de combustible, índice de seguridad y economía; para finalmente realizar el rediseño geométrico de la alternativa que soluciona el problema de tránsito actual desde el punto de vista de demoras, nivel de servicio y sostenibilidad.

4.1 Comparación de la situación actual y de las alternativas planteadas

Los resultados obtenidos en la sección anterior son resumidos en Tabla 4.1 de la cual se realiza el siguiente análisis para cada una de las alternativas:

1. Al no tomar medidas para mejorar la situación actual, esta colapsaría en todos sus accesos en los próximos 5 años, afectando principalmente a los usuarios que tendrían que esperar largos periodos de tiempo para salir de la intersección, lo cual genera una mayor cantidad de emisiones de CO₂ y consumo de combustible afectando al medio ambiente y la economía de los usuarios.
2. La alternativa 1 es con la cual se obtienen los mejores resultados desde el punto de vista técnico (relación v/c, demoras, nivel de servicio), ya que las demoras fueron reducidas considerablemente; la demora mediante cálculos manuales se disminuye hasta la cuarta parte de su estado actual. En otras palabras, se podría decir que la alternativa 1 amplía la vida útil de la intersección hasta el año 2032, con una inversión de bajo costo ya que las modificaciones geométricas son mínimas y más bien se trata de optimizar al máximo el espacio existente.
3. Con la alternativa 2 se obtiene el doble de demoras comparado con la alternativa 1, esto no es del todo cierto ya que los resultados deben ser los mismos, la principal diferencia es que los costos de inversión son mayores, puesto que la instalación de los semáforos accionados por el tránsito es superior que para los semáforos de tiempo fijo y los resultados técnicamente esperados son los mismos, por lo cual no se recomienda esta alternativa como solución al problema en la intersección.



Tabla 4. 1. Comparación del estado actual y las alternativas.

Resultados 2017-2022-2027-2032-2037																	
Alternativas	Programas		Relación "V/c"					Demora "d"					Nivel de Servicio				
Estado Actual	Excel: Cálculos manuales		1,41	1,70	2,04	2,41	2,82	120,00	196,60	310,90	442,00	595,80	F	F	F	F	F
	Synchro 8		1,46	2,15	2,61	3,02	2,88	119,50	236,10	354,60	461,90	644,70	F	F	F	F	F
	Tritone 17	Modelo Giofrè Avanzato	1,51	1,92	2,33	2,74	3,14	162,03	302,53	443,03	588,21	722,30	F	F	F	F	F
		Modelo Gipps	1,65	1,92	2,21	2,47	2,74	98,40	200,38	302,36	405,12	506,33	F	F	F	F	F
Alternativa 1: Intersección con aumento de capacidad y semáforos de tiempo fijo	Excel: Cálculos manuales		1,18	1,30	1,52	1,78	2,10	36,00	51,00	76,30	143,60	226,40	D	D	E	F	F
	Synchro 8		1,09	1,33	1,58	1,88	2,34	73,50	81,30	135,30	210,00	332,00	E	F	F	F	F
	Tritone 17	Modelo Giofrè Avanzato	1,32	1,58	1,84	2,11	2,34	91,45	163,16	234,90	307,60	378,30	F	F	F	F	F
		Modelo Gipps	1,24	1,47	1,71	1,94	2,16	39,69	62,68	79,89	142,87	241,80	D	E	E	F	F
Alternativa 2: Intersección con aumento de capacidad y semáforos actuados por el tránsito	Synchro 8		1,10	1,31	1,49	1,70	1,88	73,50	81,30	135,30	210,00	306,70	E	F	F	F	F



La Tablas 4.2, muestra una comparación de los resultados obtenidos en Tritone de la cual se extraen los siguientes resultados:

- Se reducen en un 50% las emanaciones de CO_2
- El consumo de combustible en la intersección se ve reducido en un 15%
- La intersección se vuelve 3% más segura según el A.P.R.I.

Tabla 4. 2. Comparación de alternativas respecto al medio ambiente y a la seguridad.

Resultados en Tritone: 2017-2022-2027-2032-2037																
Alternativas	Modelo	Emisiones de CO2: (g/m)					Consumo de combustible: (l/km)					Índice de seguridad: A.P.R.I (%)				
		Estado Actual	Modelo Giofrè Avanzato	69,65	72,8	76,1	79,3	82,4	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	32,1	34,8	37,6
	Modelo Gipps	121,8	128,1	134,4	140,7	147,0	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	14,3	16,2	18,1	20,0	22,1
Alternativa 1: Intersección con aumento de capacidad y semáforos de tiempo fijo	Modelo Giofrè Avanzato	34,9	36,5	38,0	39,6	41,2	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	29,7	32,4	34,9	37,7	40,1
	Modelo Gipps	61,0	64,1	67,1	70,1	73,2	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	12,9	14,6	16,3	18,0	19,7

Según la Tabla 3.25 la alternativa 2 es un proyecto sostenible ya que tiene una calificación “Plata” de 92 puntos, que está basada en parámetros internacionales dados por la Federal Highway Administration (FHWA), cuyo principio es mantener un ambiente sano, basado en el uso eficiente de los recursos y en principios ecológicos.

La alternativa 2 es un proyecto sostenible ya que aplica las siguientes consideraciones:

- Reduce significativamente la cantidad de emisiones de CO_2
- Reutiliza las materias primas disminuyendo el costo del proyecto
- Se disminuye la cantidad de áreas verde, pero se contempla una mejora en la calidad de la vegetación en los parterres adyacentes.
- Mejora el nivel de servicio de la vía aumentado su vida útil a 15 años
- El consumo de combustible y las demoras se reducen significativamente, así como también los costos operacionales de los usuarios
- Gracias a la optimización del espacio y disminución de puntos conflictivos en los carriles de giro a la izquierda, se logra reducir la probabilidad de accidentes de tránsito, mejorando la seguridad para de esta forma evitar lesiones y daños a la propiedad pública.
- Se contempla el mantenimiento y reparación de las señales de tráfico existentes.

Finalmente se recomienda utilizar la alternativa 1 como la mejor opción para solucionar el tránsito actual para una vida útil de 15 años. A continuación, en la sección 4.2 se desarrollará a detalle los costos de construcción de la solución.

4.2 Análisis de Costos de la solución

En esta sección se analiza la viabilidad económica de la alternativa 1 para lo cual es necesario calcular el presupuesto total del proyecto el cual consta de las siguientes actividades:

- *Obras viales:* Consiste en la realización de obras preliminares como el derrocamiento de parterres y estructuras de hormigón, excavaciones y rellenos, entre otros
- *Parterres y obras de pavimentación:* Producto de las modificaciones geométricas es necesario mover y construir nuevos parterres, así como también colocar pavimento flexible en donde sea necesario.
- *Obras paisajísticas:* Consiste en todas las obras de remoción y reforestación de áreas verdes.
- *Plan de manejo ambiental:* Se trata de los rubros para mantener la seguridad de la obra en el proceso de ejecución de la misma.
- *Señalización:* Realizar el mantenimiento, reparación y de ser necesario el reemplazo de las señales de tránsito tales como: paradas de buses, indicadores del límite de velocidad, prohibiciones de estacionar, etc.

Para cada una de las actividades se calcularon las cantidades de obra en base a las modificaciones realizadas. Los precios unitarios fueron obtenidos del proyecto: “Estudios y diseño para la solución de los conflictos de movilidad de las intersecciones Av. De las Américas” [16], esta información fue proporcionada por parte de la entidad oferente del proyecto. Además, cabe mencionar que los rubros y precios unitarios están acorde a lo establecido por la Cámara de Construcción de Cuenca (CCC) y el Colegio de Ingenieros Civiles del Azuay (CICA), a través de su revista anual del año 2017 [17]. La Tabla 4.3 muestra los rubros analizados, las cantidades de obra, precios unitarios y precios totales de la alternativa 1, cabe mencionar que dentro del análisis de precios unitarios está considerado un costo indirecto del 20% y un valor del IVA del 12% establecido por el Servicio de Rentas Internas (SRI).

Tabla 4.3. Presupuesto de la alternativa 2.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	OBRAS VIALES (PRELIMINARES)				7168,88
1,1	Excavación mecánica en suelos sin clasificar de 0 a 2m de profundidad	m3	167,20	3,11	519,99
1,2	Relleno compactado con material sub base, h=0.15m	m3	62,70	30,12	1888,52
1,3	Relleno compactado con material base, h=0.15m	m3	62,70	30,12	1888,52
1,4	Cargado de material con cargadora	m3	232,36	1,33	309,04
1,5	Transporte de material hasta 5km	m3	232,36	2,45	569,28
1,6	Transporte de material más de 5km	m3-km	1626,52	0,28	455,43
1,7	Desmontaje de estructura de semáforos y vallas publicitarias	global	1,00	845,00	845,00
1,8	Demolición de estructuras de hormigón	m3	10,00	69,31	693,10
2	PARTERRES				2488,47
2,1	Hormigón simple 280 kg/cm2	m3	11,64	147,65	1718,65
2,2	Encofrado metálico recto para muros	m2	66,00	5,46	360,36
2,3	Malla electrosoldada R-131	m2	72,60	5,64	409,46
3	OBRAS DE PAVIMENTACIÓN				5434,00
3,1	Colocación de pavimento flexible e=4"	m2	418,00	13,00	5434,00



4	OBRAS PAISAJÍSTICAS				6322,68
4,1	Relleno de tierra vegetal para áreas verdes y/o jardineras	m3	100,59	38,45	3867,69
4,2	Remoción de árboles	planta	7,00	193,49	1354,43
4,3	Siembra de árboles incluye excavación y abono orgánico (categoría 4)	planta	7,00	100,03	700,21
4,4	Siembra de kikuyo, incluye tendido de arenilla	m2	100,59	3,98	400,35
5	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL				2925,93
5,1	Cierre de la fase de construcción	global	1,00	810,00	810,00
5,2	Colocar conos para tráfico y señalización tipo pedestal	global	1,00	182,88	182,88
5,3	Humedecer vías de circulación, con vehículos aspensor o manguera	global	1,00	856,17	856,17
5,4	Cobertor para materiales pétreos	global	1,00	144,00	144,00
5,5	Plástico para materiales pétreos	global	1,00	100,80	100,80
5,7	Lona o plástico para transportar material de escombros	global	1,00	27,00	27,00
5,8	Reunión informativa	global	1,00	46,08	46,08
5,9	Socializar con los moradores el manejo de la vegetación	global	1,00	324,00	324,00
5,10	Reemplazar señalización de seguridad por señalización de tránsito	global	1,00	135,00	135,00
5,11	Dotación de EPP	global	1,00	300,00	300,00
6	SEÑALIZACIÓN				5194,40
6,1	Señales verticales (mantenimiento, reparación, instalación)	u	33,00	119,46	3942,18
6,2	Señales verticales (información de destino)	u	1,00	218,22	218,22
6,3	Pintura para señalización de tráfico, manual	m2	260,01	6,35	1651,06
6,4	Suministro e instalación de tachas reflectivas	u	250,00	5,26	1315,00
SUBTOTAL					31466,42
IVA 12%					3775,97
TOTAL					35242,39

4.3 Diseño Geométrico de la Mejor Alternativa.

Se ha planteado la alternativa 1 como solución al problema del tránsito según el análisis realizado en la sección 3.6. Los planos a nivel de prediseño de esta alternativa se adjuntan en el Anexo 8. A continuación se detallan algunas modificaciones:

- Se ajustaron los radios de giro en todos los accesos de la intersección
- No se realizaron reducciones en el ancho de las veredas de manera que no se afecte el flujo peatonal
- Se modificó la ubicación de los parterres, y el ancho de los mismos fue reducido para lograr aumentar el ancho útil de los accesos
- Se aumentó un carril en todos los accesos de la intersección y un carril para las salidas de E2 y E3
- Las longitudes de las bahías de giro se extendieron al máximo con el objetivo de aumentar la capacidad de almacenamiento de vehículos en los giros exclusivos a la izquierda
- Los accesos de salida para viviendas, condominios y negocios no se afectaron por los cambios geométricos
- Se aumentó la seguridad de la vía gracias al aumento y mejora de la señalización existente



CAPÍTULO 5

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Del presente estudio se concluye que la intersección en su estado actual está colapsada ya que los flujos de demanda son en promedio el doble de la capacidad que soporta la intersección, lo que genera demoras excesivas en todos sus accesos, que la clasifican en un nivel de servicio F, para lo cual se plantearon dos alternativas de mejora para solucionar los problemas de tránsito.

Todos los objetivos propuestos al inicio de este trabajo fueron cumplidos ya que se evaluó el estado actual y se propusieron dos alternativas de mejora; todo esto fue posible previo a la toma de datos de campo que son: el conteo vehicular y el levantamiento topográfico, así también se evaluó la sostenibilidad y se determinó el presupuesto de construcción, para finalmente elaborar los planos a nivel de prediseño de la alternativa 1.

De las dos alternativas planteadas la que aporta los mejores resultados es la alternativa 1, ya que es con la cual se obtiene el mejor nivel de servicio D para el 2017 y demoras promedio de 30 segundos para cada vehículo, además de ser un proyecto sostenible y de bajo costo que brinda una extensión de su vida útil a 15 años.

Con respecto a las metodologías usadas se puede concluir lo siguiente:

La metodología del HCM 2010 se adapta perfectamente a la intersección en estudio puesto que permite modelar todos los parámetros que intervienen en su evaluación.

Se debe tener cuidado en analizar uno por uno cada grupo de carriles ya que si bien es cierto la intersección puede estar en un buen nivel de servicio, pero un grupo de carriles puede estar operando de manera deficiente en comparación con el desempeño de toda la intersección.

En conclusión, la alternativa 1 es calificada como un proyecto sostenible con una puntuación de 92 que la clasifica como un “*Proyecto Plata*” según la Federal Highway Administration (FHWA), esta denominación se obtiene porque sus principios se basan en mantener un ambiente sano y en el uso eficiente de los recursos

El diseño geométrico de la alternativa 1, se realizó en base a la Norma Ecuatoriana Vial “NEVI 12” y el HCM 2010, la cual sugiere tomar a los vehículos pesados con la mayor tasa de flujo en la intersección como los vehículos de diseño ya que son los que tienen el mayor radio de giro y por lo tanto son los que generan mayores conflictos en las variaciones geométricas.



5.2 RECOMENDACIONES

Con respecto a las metodologías usadas se puede recomendar lo siguiente:

De la metodología del HCM 2010 se recomienda una calibración local ya que todos los factores que intervienen en el cálculo de la capacidad son propios de los Estados Unidos y podría existir variaciones que impiden una correspondencia total a la realidad local.

Mediante los cálculos realizados en Excel se obtuvieron resultados muy cercanos a los que se experimentan en campo, pero en algunos casos específicamente al analizar grupos de carriles con giros a la izquierda se presentan demoras excesivas, que no son del todo ciertas ya que en la realidad los vehículos no solo realizan este giro por el carril exclusivo sino también usan carriles adyacentes con movimiento directo, lo cual disminuiría las demoras y aumentaría la capacidad del carril exclusivo; se recomienda modelar este escenario para una evaluación más cercana a la realidad.

Los resultados obtenidos en Synchro 8 no son lo suficientemente representativos para condiciones de flujo saturado, ya que para el cálculo de la capacidad se obtienen valores mayores a los reales, por lo tanto, no se recomienda usar este programa para el cálculo de las tasas de flujo de saturación sino más bien ingresar estos datos directamente para evitar desviaciones y tratar de calibrar estos valores a las condiciones locales.

En cuanto a las demoras obtenidas en Synchro 8 se puede decir que son mayores a las que se esperaría en la realidad, siendo recomendable también para este parámetro considerar las tasas de flujo de saturación ajustadas previamente a las condiciones locales, con lo cual se estima una reducción de un 30% en las demoras.

Los modelos de microsimulaciones implementados por Tritone se recomiendan usar para el análisis de la seguridad de la vía y factores ambientales relacionados con la sostenibilidad más no para el análisis del nivel de servicio como tal ya que no son desarrollados específicamente con esta finalidad. De los dos modelos realizados en este trabajo se puede recomendar lo siguiente:

- El modelo Giofrè Avanzato implementado por Tritone es el que da los peores resultados, ya que no se ajusta a realidad y produce demoras un 50% más altas de las que se esperaría; además los valores se alejan del resto de modelos utilizados, por lo cual no se recomienda usar para intersecciones con semáforos porque no considera todos los parámetros y solo se basa en la velocidad de circulación y la distancia entre vehículos despreciando el efecto del ancho del carril, la presencia de vehículos pesados, las paradas de los buses, la longitud del ciclo, entre otros.
- El modelo de Gipps usado por el AIMSUM es el modelo que mejor se acerca al funcionamiento real de la intersección ya que solo produce un incremento en las demoras del 5% con respecto al comportamiento real, es decir este modelo se adapta a las condiciones locales y se recomienda usar en la evaluación de intersecciones semaforizadas de la ciudad de Cuenca.



- Estos dos modelos de simulación de seguridad vial requieren la información precisa del comportamiento de cada uno de los componentes de los sistemas viales (vehículo-conductor-geometría de la vía) y su relación entre sí, por lo cual se recomienda una calibración de estos parámetros de manera que sea posible realizar microsimulaciones aún más precisas a nivel local.
- Se recomienda sumar al análisis del nivel de servicio, una micro-simulación de la seguridad vial ya que son dos parámetros que van de la mano y que pueden asociarse entre sí dando no solo una medida de rendimiento vial sino también de la seguridad.

Como recomendación se plantea no tener total confianza en los resultados que arrojan los programas de modelación, puesto que en ocasiones éstos incluyen factores propios los cuales modifican la realidad vista en campo. Esto fue lo que ocurrió con la alternativa 2, usando semáforos accionados por el tránsito se esperaba tener resultados similares a los de la alternativa 1, ya que la única diferencia entre estos semáforos es su tiempo fijo y que son accionados por el tránsito, pero los factores de capacidad que incorpora el programa por defecto impidieron dar una solución real al problema planteado.

El tráfico en el centro histórico de la ciudad de Cuenca se encuentra controlado por semáforos accionados por el tránsito, es por ello que se recomienda revisión con controles manuales por muestreo para lograr aprovechar de manera óptima el funcionamiento de todos los semáforos con el fin de facilitar la movilidad y la comodidad de los usuarios.



3. REFERENCIAS

- [1] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*. Washington DC, 2010.
- [2] R. Cal y Mayor and J. Cárdenas Grisales, *Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones*, 8th ed. México, 2007.
- [3] Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, “Normas para estudio y diseños viales,” vol. 2–A. 2013.
- [4] J. Romero and C. Toledo, “Análisis de la intersección entre la Av. de las Américas y Ruta Machángara, con posible mejoramiento vial,” Universidad de Cuenca, 2017.
- [5] D. Rodríguez Urella, “Revisión del HCM 2010 y 2000 intersecciones semaforizadas,” *Ingenium*, no. HCM 2010, pp. 19–31, 2015.
- [6] W. Bonilla, “Plan integral de señalización y semaforización vial del Cantón Guano, Provincia de Chimborazo, durante el periodo Octubre 2015 a Octubre 2016,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016.
- [7] F. V Webster, “Traffic signal settings, road research technical paper no. 39,” *Road Res. Lab.*, 1958.
- [8] R. Akcelik, “Traffic Signals: Capacity and Timing Analysis,” *Aust. Road Res.*, 1989.
- [9] Trafficware Corporation, “Synchro: Traffic Signal Coordination Software.” Albany CA, 2011.
- [10] University of Calabria UNICAL (TIS Group), *Tritone: Transport Innovation Software*. Italy, 2017.
- [11] Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 2 204:2002, “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 2002, p. 9, 2002.
- [12] United States Department of Transportation - Federal Highway Administration, “INVEST: Version 1.2,” 2017. [Online]. Available: <https://www.sustainablehighways.org/>.
- [13] AASHTO, “Policy on geometric design of highways and streets,” *Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. Washington, DC*, vol. 1, no. 990, p. 158, 2001.
- [14] Instrumental y Optica, “Manual: Software para estaciones totales Trimble M3 - Digital fieldbook.” pp. 1–20, 2015.
- [15] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, “Población y tasa de crecimiento intercensal.” 2010.
- [16] F. Vintimilla, “Estudios y diseño para la solución de los conflictos de movilidad de las intersecciones Av. De las Américas,” 2017.
- [17] Colegio de Ingenieros Civiles del Azuay, *REVISTA CICA*. Cuenca, 2017.



4. ANEXOS

Anexo 1. Aforos Vehiculares por Estación

CONTEO VOLUMÉTRICO CLASIFICADO										
INTERSECCION: Av. 12 de Abril y Unidad Nacional			FECHA: Lunes, 07 de diciembre de 2015.				HORA INICIO: 07h00			
ESTACION N°: 1			SENTIDO: N-S		S-N		E-W	W-E	HORA FIN: 19h00	
Periodo cada 15 min	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			MOTOS	BICIS	TOTAL	HORA PICO	
			2 EJES	3 EJES	4 EJES					
07h00 - 07h15	209	12	2	0	0	4	0	227	-	
07h15 - 07h30	172	9	0	0	0	8	0	189	-	
07h30 - 07h45	203	12	2	0	0	5	3	225	-	
07h45 - 08h00	237	7	1	0	0	9	1	255	896	
08h00 - 08h15	179	10	5	0	0	8	1	203	872	
08h15 - 08h30	201	10	5	0	0	6	0	222	905	
08h30 - 08h45	215	11	4	0	0	6	1	237	917	
08h45 - 09h00	158	9	3	0	0	6	0	176	838	
09h00 - 09h15	211	12	6	0	0	8	0	237	872	
09h15 - 09h30	163	12	2	1	0	6	0	184	834	
09h30 - 09h45	187	10	7	0	0	13	1	218	815	
09h45 - 10h00	165	11	7	0	0	5	1	189	828	
10h00 - 10h15	179	9	8	0	0	8	0	204	795	
10h15 - 10h30	167	13	4	0	0	6	1	191	802	
10h30 - 10h45	162	8	4	0	0	4	0	178	762	
10h45 - 11h00	181	10	7	0	0	7	1	206	779	
11h00 - 11h15	171	8	4	0	0	7	1	191	766	
11h15 - 11h30	153	10	7	0	0	10	0	180	755	
11h30 - 11h45	143	10	7	0	0	4	0	164	741	
11h45 - 12h00	186	10	9	0	0	11	0	216	751	
12h00 - 12h15	169	7	12	0	0	12	1	201	761	
12h15 - 12h30	193	13	5	0	0	12	0	223	804	
12h30 - 12h45	213	10	3	0	0	13	3	242	882	
12h45 - 13h00	186	6	8	0	0	3	0	203	869	
13h00 - 13h15	197	9	4	0	0	16	1	227	895	
13h15 - 13h30	180	10	4	0	0	7	0	201	873	
13h30 - 13h45	192	10	3	0	0	9	1	215	846	
13h45 - 14h00	174	14	4	0	0	5	0	197	840	
14h00 - 14h15	190	9	1	0	0	17	0	217	830	
14h15 - 14h30	151	12	1	0	0	6	0	170	799	
14h30 - 14h45	162	10	2	0	0	9	1	184	768	
14h45 - 15h00	173	12	3	0	0	5	0	193	764	
15h00 - 15h15	168	13	1	0	0	3	0	185	732	
15h15 - 15h30	179	12	4	0	0	6	1	202	764	
15h30 - 15h45	168	12	2	0	0	9	0	191	771	
15h45 - 16h00	184	10	2	0	0	13	0	209	787	



16h00 - 16h15	191	12	1	0	0	11	0	215	817
16h15 - 16h30	198	14	6	0	0	21	1	240	855
16h30 - 16h45	207	2	0	0	0	2	0	211	875
16h45 - 17h00	206	11	6	0	0	8	0	231	897
17h00 - 17h15	193	9	11	0	0	13	0	226	908
17h15 - 17h30	184	10	6	0	0	13	5	218	886
17h30 - 17h45	202	10	7	0	0	10	3	232	907
17h45 - 18h00	187	10	0	0	0	9	0	206	882
18h00 - 18h15	172	13	2	0	0	13	3	203	859
18h15 - 18h30	183	13	0	0	0	13	0	209	850
18h30 - 18h45	194	11	1	0	0	14	1	221	839
18h45 - 19h00	203	12	0	0	0	10	0	225	858
TOTAL	8841	499	193	1	0	423	32	9989	
%	88.51	5.00	1.93	0.01	0.00	4.23	0.32	100.00	

CONTEO VOLUMÉTRICO CLASIFICADO										
INTERSECCION: Av. 12 de Abril y Unidad Nacional				FECHA: Lunes, 07 de diciembre de 2015.				HORA INICIO: 07h00		
ESTACION N°: 2		SENTIDO: N-S		S-N		E-W	W-E	HORA FIN: 19h00		
Periodo cada 15 min	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			MOTOS	BICIS	TOTAL	HORA PICO	
			2 EJES	3 EJES	4 EJES					
07h00 - 07h15	193	5	3	0	0	7	0	208	-	
07h15 - 07h30	181	2	1	0	0	5	2	191	-	
07h30 - 07h45	208	6	3	0	0	4	0	221	-	
07h45 - 08h00	244	4	6	0	0	12	1	267	887	
08h00 - 08h15	197	5	1	0	0	7	0	210	889	
08h15 - 08h30	201	7	2	0	0	7	1	218	916	
08h30 - 08h45	204	7	2	0	0	4	0	217	912	
08h45 - 09h00	209	7	0	1	0	11	0	228	873	
09h00 - 09h15	202	9	4	0	0	10	0	225	888	
09h15 - 09h30	156	3	7	0	0	4	2	172	842	
09h30 - 09h45	169	5	3	0	0	4	0	181	806	
09h45 - 10h00	159	5	6	0	0	4	1	175	753	
10h00 - 10h15	156	5	3	0	0	2	1	167	695	
10h15 - 10h30	151	4	2	0	0	7	1	165	688	
10h30 - 10h45	166	5	4	0	0	5	2	182	689	
10h45 - 11h00	133	3	4	0	0	5	2	147	661	
11h00 - 11h15	150	3	2	0	0	9	2	166	660	
11h15 - 11h30	125	5	7	0	0	4	3	144	639	
11h30 - 11h45	124	2	4	0	0	4	1	135	592	
11h45 - 12h00	159	6	6	0	0	4	2	177	622	
12h00 - 12h15	182	3	2	0	0	8	0	195	651	
12h15 - 12h30	178	3	3	0	0	3	0	187	694	
12h30 - 12h45	182	4	3	0	0	4	0	193	752	
12h45 - 13h00	196	5	5	0	0	5	1	212	787	



13h00 - 13h15	157	4	2	0	0	5	1	169	761
13h15 - 13h30	144	3	1	0	0	6	1	155	729
13h30 - 13h45	145	5	4	0	0	7	2	163	699
13h45 - 14h00	135	4	4	0	0	6	0	149	636
14h00 - 14h15	135	5	6	0	0	2	0	148	615
14h15 - 14h30	126	5	2	0	0	8	1	142	602
14h30 - 14h45	159	6	3	0	0	5	0	173	612
14h45 - 15h00	171	4	4	0	0	3	1	183	646
15h00 - 15h15	186	5	4	0	0	13	0	208	706
15h15 - 15h30	198	3	2	0	0	4	0	207	771
15h30 - 15h45	191	4	3	0	0	5	0	203	801
15h45 - 16h00	201	5	1	0	0	6	0	213	831
16h00 - 16h15	228	6	2	0	0	4	1	241	864
16h15 - 16h30	197	5	1	0	0	4	0	207	864
16h30 - 16h45	187	9	6	0	0	2	0	204	865
16h45 - 17h00	188	2	3	0	0	6	0	199	851
17h00 - 17h15	166	6	0	0	0	10	2	184	794
17h15 - 17h30	179	5	1	0	0	7	2	194	781
17h30 - 17h45	156	4	3	0	0	7	1	171	748
17h45 - 18h00	192	3	3	0	0	7	1	206	755
18h00 - 18h15	187	5	2	0	0	10	1	205	776
18h15 - 18h30	191	3	1	0	0	6	1	202	784
18h30 - 18h45	204	4	2	0	0	7	1	218	831
18h45 - 19h00	210	5	3	0	0	8	1	227	852
TOTAL	8458	223	146	1	0	287	39	9154	
%	92.40	2.44	1.59	0.01	0.00	3.14	0.43	100.00	

CONTEO VOLUMÉTRICO CLASIFICADO									
INTERSECCION: Av. 12 de Abril y Unidad Nacional			FECHA: Lunes, 07 de diciembre de 2015.				HORA INICIO: 07h00		
ESTACION N°: 3		SENTIDO: N-S		S-N	E-W	W-E	HORA FIN: 19h00		
Periodo cada 15 min	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			MOTOS	BICIS	TOTAL	HORA PICO
			2 EJES	3 EJES	4 EJES				
07h00 - 07h15	219	4	0	0	0	6	1	230	-
07h15 - 07h30	147	9	0	0	0	8	0	164	-
07h30 - 07h45	144	8	4	0	0	6	1	163	-
07h45 - 08h00	143	5	0	0	0	2	4	154	711
08h00 - 08h15	151	7	0	0	0	3	1	162	643
08h15 - 08h30	132	9	3	0	0	5	1	150	629
08h30 - 08h45	115	7	3	0	0	7	2	134	600
08h45 - 09h00	142	8	2	0	0	4	0	156	602
09h00 - 09h15	132	9	3	1	0	5	1	151	591
09h15 - 09h30	132	6	2	0	0	4	1	145	586
09h30 - 09h45	153	8	2	0	0	4	1	168	620
09h45 - 10h00	101	8	3	0	0	9	0	121	585
10h00 - 10h15	132	5	4	0	0	4	0	145	579



10h15 - 10h30	113	8	1	0	0	4	1	127	561
10h30 - 10h45	110	5	3	0	0	8	0	126	519
10h45 - 11h00	136	8	2	0	0	12	1	159	557
11h00 - 11h15	125	7	5	0	0	10	0	147	559
11h15 - 11h30	112	7	4	0	0	4	1	128	560
11h30 - 11h45	170	10	4	0	0	8	0	192	626
11h45 - 12h00	144	9	5	0	0	7	1	166	633
12h00 - 12h15	142	6	4	0	0	6	0	158	644
12h15 - 12h30	192	7	5	1	0	5	2	212	728
12h30 - 12h45	207	7	4	0	0	7	6	231	767
12h45 - 13h00	193	7	3	0	0	9	0	212	813
13h00 - 13h15	184	6	5	0	0	6	1	202	857
13h15 - 13h30	232	11	3	0	0	8	0	254	899
13h30 - 13h45	189	6	2	2	0	6	2	207	875
13h45 - 14h00	173	11	5	0	0	12	1	202	865
14h00 - 14h15	149	8	3	0	0	13	2	175	838
14h15 - 14h30	145	9	3	0	0	8	1	166	750
14h30 - 14h45	139	7	2	0	0	10	0	158	701
14h45 - 15h00	135	6	1	0	0	7	2	151	650
15h00 - 15h15	133	7	3	0	0	9	0	152	627
15h15 - 15h30	130	5	1	0	0	5	1	142	603
15h30 - 15h45	147	6	3	0	0	6	0	162	607
15h45 - 16h00	160	6	2	0	0	6	2	176	632
16h00 - 16h15	158	8	4	0	0	8	0	178	658
16h15 - 16h30	137	6	4	0	0	10	0	157	673
16h30 - 16h45	162	8	2	0	0	11	0	183	694
16h45 - 17h00	139	8	5	0	0	10	1	163	681
17h00 - 17h15	159	9	6	0	0	8	1	183	686
17h15 - 17h30	157	3	6	0	0	12	1	179	708
17h30 - 17h45	175	12	3	0	0	8	0	198	723
17h45 - 18h00	220	11	3	0	0	7	2	243	803
18h00 - 18h15	184	9	3	0	0	9	2	207	827
18h15 - 18h30	178	8	4	0	0	10	2	202	850
18h30 - 18h45	161	9	2	0	0	8	1	181	833
18h45 - 19h00	132	6	1	0	0	9	0	148	738
TOTAL	7365	359	142	4	0	353	47	8270	
%	89.06	4.34	1.72	0.05	0.00	4.27	0.57	100.00	

CONTEO VOLUMÉTRICO CLASIFICADO									
INTERSECCION: Av. 12 de Abril y Unidad Nacional				FECHA: Lunes, 07 de diciembre de 2015.				HORA INICIO: 07h00	
ESTACION N°: 4		SENTIDO: N-S		S-N		E-W	W-E	HORA FIN: 19h00	
Periodo cada 15 min	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			MOTOS	BICIS	TOTAL	HORA PIDO
			2 EJES	3 EJES	4 EJES				
07h00 - 07h15	173	15	5	0	0	10	0	203	-
07h15 - 07h30	180	9	6	0	0	3	1	199	-
07h30 - 07h45	162	10	2	0	0	2	2	178	-



07h45 - 08h00	174	7	4	1	0	3	2	191	771
08h00 - 08h15	181	13	0	0	0	6	1	201	769
08h15 - 08h30	185	9	4	0	0	0	0	198	768
08h30 - 08h45	153	8	5	0	0	2	0	168	758
08h45 - 09h00	199	6	0	0	0	11	1	217	784
09h00 - 09h15	154	7	3	0	0	5	1	170	753
09h15 - 09h30	196	10	5	0	0	11	1	223	778
09h30 - 09h45	165	7	4	0	0	6	0	182	792
09h45 - 10h00	144	8	0	0	0	9	0	161	736
10h00 - 10h15	156	6	4	0	0	5	0	171	737
10h15 - 10h30	145	6	3	0	0	9	0	163	677
10h30 - 10h45	178	7	4	0	0	8	0	197	692
10h45 - 11h00	171	9	1	0	0	11	1	193	724
11h00 - 11h15	173	8	8	0	0	6	1	196	749
11h15 - 11h30	186	6	4	0	0	6	1	203	789
11h30 - 11h45	191	3	4	0	0	5	0	203	795
11h45 - 12h00	181	10	3	0	0	5	0	199	801
12h00 - 12h15	187	9	9	0	0	8	0	213	818
12h15 - 12h30	199	5	4	0	0	8	1	217	832
12h30 - 12h45	182	5	2	0	0	6	1	196	825
12h45 - 13h00	227	9	2	0	0	6	2	246	872
13h00 - 13h15	217	6	2	0	0	2	1	228	887
13h15 - 13h30	180	5	2	0	0	5	1	193	863
13h30 - 13h45	214	6	4	0	0	11	0	235	902
13h45 - 14h00	174	6	4	0	0	9	1	194	850
14h00 - 14h15	164	9	0	0	0	5	1	179	801
14h15 - 14h30	157	5	3	0	0	4	0	169	777
14h30 - 14h45	149	6	1	0	0	2	2	160	702
14h45 - 15h00	160	5	3	0	0	5	0	173	681
15h00 - 15h15	154	8	2	0	0	3	0	167	669
15h15 - 15h30	164	9	4	0	0	6	1	184	684
15h30 - 15h45	161	5	2	0	0	4	0	172	696
15h45 - 16h00	166	5	5	0	0	7	2	185	708
16h00 - 16h15	159	6	3	0	0	5	1	174	715
16h15 - 16h30	157	8	5	0	0	10	0	180	711
16h30 - 16h45	155	6	1	0	0	1	0	163	702
16h45 - 17h00	159	6	1	0	0	1	0	167	684
17h00 - 17h15	176	10	4	0	0	11	0	201	711
17h15 - 17h30	230	10	9	0	0	10	1	260	791
17h30 - 17h45	184	5	3	0	0	10	2	204	832
17h45 - 18h00	208	9	4	0	0	9	0	230	895
18h00 - 18h15	207	6	3	0	0	6	5	227	921
18h15 - 18h30	217	11	1	0	0	5	0	234	895
18h30 - 18h45	212	8	2	0	0	4	1	227	918
18h45 - 19h00	209	6	4	0	0	2	1	222	910
TOTAL	8575	358	158	1	0	288	36	9416	
%	91.07	3.80	1.68	0.01	0.00	3.06	0.38	100.00	



CONTEO VOLUMÉTRICO CLASIFICADO							
INTERSECCION: Av. 12 de Abril y Av. Unidad Nacional				HORA INICIO: 07h00			
FECHA: Lunes, 07 de diciembre de 2015.				HORA FIN: 19h00			
INTERSECCIÓN SIN 2R							
Periodo cada 15 min	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES			TOTAL	HORA PICO
			2 EJES	3 EJES	4 EJES O MAS		
07h00 - 07h15	794	36	10	0	0	840	
07h15 - 07h30	680	29	7	0	0	716	
07h30 - 07h45	717	36	11	0	0	764	
07h45 - 08h00	798	23	11	1	0	833	3153
08h00 - 08h15	708	35	6	0	0	749	3062
08h15 - 08h30	719	35	14	0	0	768	3114
08h30 - 08h45	687	33	14	0	0	734	3084
08h45 - 09h00	708	30	5	1	0	744	2995
09h00 - 09h15	699	37	16	1	0	753	2999
09h15 - 09h30	647	31	16	1	0	695	2926
09h30 - 09h45	674	30	16	0	0	720	2912
09h45 - 10h00	569	32	16	0	0	617	2785
10h00 - 10h15	623	25	19	0	0	667	2699
10h15 - 10h30	576	31	10	0	0	617	2621
10h30 - 10h45	616	25	15	0	0	656	2557
10h45 - 11h00	621	30	14	0	0	665	2605
11h00 - 11h15	619	26	19	0	0	664	2602
11h15 - 11h30	576	28	22	0	0	626	2611
11h30 - 11h45	628	25	19	0	0	672	2627
11h45 - 12h00	670	35	23	0	0	728	2690
12h00 - 12h15	680	25	27	0	0	732	2758
12h15 - 12h30	762	28	17	1	0	808	2940
12h30 - 12h45	784	26	12	0	0	822	3090
12h45 - 13h00	802	27	18	0	0	847	3209
13h00 - 13h15	755	25	13	0	0	793	3270
13h15 - 13h30	736	29	10	0	0	775	3237
13h30 - 13h45	740	27	13	2	0	782	3197
13h45 - 14h00	656	35	17	0	0	708	3058
14h00 - 14h15	638	31	10	0	0	679	2944
14h15 - 14h30	579	31	9	0	0	619	2788
14h30 - 14h45	609	29	8	0	0	646	2652
14h45 - 15h00	639	27	11	0	0	677	2621
15h00 - 15h15	641	33	10	0	0	684	2626
15h15 - 15h30	671	29	11	0	0	711	2718
15h30 - 15h45	667	27	10	0	0	704	2776
15h45 - 16h00	711	26	10	0	0	747	2846
16h00 - 16h15	736	32	10	0	0	778	2940



16h15 - 16h30	689	33	16	0	0	738	2967
16h30 - 16h45	711	25	9	0	0	745	3008
16h45 - 17h00	692	27	15	0	0	734	2995
17h00 - 17h15	694	34	21	0	0	749	2966
17h15 - 17h30	750	28	22	0	0	800	3028
17h30 - 17h45	717	31	16	0	0	764	3047
17h45 - 18h00	807	33	10	0	0	850	3163
18h00 - 18h15	750	33	10	0	0	793	3207
18h15 - 18h30	769	35	6	0	0	810	3217
18h30 - 18h45	771	32	7	0	0	810	3263
18h45 - 19h00	754	29	8	0	0	791	3204
TOTAL	33239	1439	639	7	0	35324	
%	94,10	4,07	1,81	0,02	0,00	100	



Anexo 2. Conteo Automático.

CONTEO AUTOMATICO DE TRÁFICO								
Calle principal	Av. 12 de abril		Calle secundaria			Av. Unidad Nacional		
Estación	177							
Fecha:	25/julio/2015-31/julio/2015							
Hora	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
00:00-01:00	800	493	74	167	182	197	373	2286
01:00-02:00	473	437	50	57	117	136	165	1435
02:00-03:00	505	486	31	36	54	71	89	1272
03:00-04:00	279	267	40	28	53	58	80	805
04:00-05:00	193	134	50	77	109	72	87	722
05:00-06:00	229	140	135	183	250	188	193	1318
06:00-07:00	552	357	664	689	811	619	704	4396
07:00-08:00	1285	686	1865	1891	2078	1785	1823	11413
08:00-09:00	1949	905	2642	2549	2837	2514	2698	16094
09:00-10:00	2203	1061	2559	2508	2726	2410	2532	15999
10:00-11:00	2321	1246	2420	2448	2769	2410	2602	16216
11:00-12:00	2463	1536	2420	2333	2727	2394	2479	16352
12:00-13:00	2446	1562	2432	2493	2672	2458	2605	16668
13:00-14:00	2291	1518	2490	2464	2494	2511	2559	16327
14:00-15:00	1983	1200	2335	2340	2480	2333	2380	15051
15:00-16:00	1805	1162	2662	2604	2835	2765	2864	16697
16:00-17:00	1727	1249	2519	2626	2748	2681	2836	16386
17:00-18:00	1789	1134	2593	2715	2724	2664	2779	16398
18:00-19:00	1715	1238	2450	2634	2651	2533	2682	15903
19:00-20:00	1696	1204	2348	2544	2431	2435	2565	15223
20:00-21:00	1566	1149	1598	1896	1776	1817	2168	11970
21:00-22:00	1330	733	1194	1268	1211	1268	1682	8686
22:00-23:00	988	435	755	1062	896	1026	1427	6589
23:00-24:00	657	214	732	787	438	748	907	4483
TOTAL	33245	20546	37058	38399	40069	38093	41279	248689
F. HORARIO	1.387	1.417	1.261	1.297	1.262	1.293	1.339	
F. DIARIO	1.069	1.729	0.959	0.925	0.887	0.933	0.861	



Anexo 3. Datos de Censos de Población. Fuente: INEC

FECHA CENSO	AZUAY		CUENCA			
			CANTON		CIUDAD	
	Habitantes	Crecimiento	Habitantes	Crecimiento	Habitantes	Crecimiento
1950	250975	0.008	122434	0.013	39983	0.035
1962	274642	0.025	143031	0.034	60402	0.047
1974	367324	0.023	213027	0.032	104470	0.048
1982	442019	0.017	275070	0.023	152406	0.031
1990	506090	0.016	331028	0.021	194981	0.033
2001	599546	0.019	417632	0.02146	277374	0.033
2010	712127		505585		370090	



Anexo 4. Proyecciones de la población de la Provincia del Azuay, Cantón Cuenca, Ciudad Cuenca.

AÑO	AZUAY		CUENCA			
			CANTON		CIUDAD	
	Habitantes	Crecimiento	Habitantes	Crecimiento	Habitantes	Crecimiento
2017	814113	1.93	586,611	2.15	463,146	3.26
2018	829829	1.93	599,201	2.15	478,227	3.26
2019	845848	1.93	612,061	2.15	493,798	3.26
2020	862177	1.93	625,197	2.15	509,877	3.26
2021	878820	1.93	638,615	2.15	526,479	3.26
2022	895786	1.93	652,321	2.15	543,622	3.26
2023	913078	1.93	666,321	2.15	561,323	3.26
2024	930704	1.93	680,622	2.15	579,600	3.26
2025	948671	1.93	695,230	2.15	598,472	3.26
2026	966985	1.93	710,151	2.15	617,959	3.26
2027	985652		725,392		638,081	
CRECIMIENTO		1.93		2.15		3.26



Anexo 5. Tabla de combustibles del año 2016. Fuente: ARCH.

TABLA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE 2016				
MES	SUPER S.P.	GAS. EXTRA	DIESEL PREMIUM	SUMA
ENE	455,488	3,899,531	2,763,943	7,118,962
FEB	485,574	3,844,055	2,603,380	6,933,009
MAR	484,258	4,079,176	2,856,353	7,419,787
ABR	467,095	4,057,866	2,836,920	7,361,881
MAY	480,860	4,177,356	2,765,474	7,423,690
JUN	438,006	4,108,120	2,851,856	7,397,982
JUL	486,050	4,097,211	2,814,806	7,398,067
AGO	488,903	4,087,734	3,121,460	7,698,097
SEP	474,142	4,146,236	3,054,734	7,675,112
OCT	453,441	4,197,071	3,030,569	7,681,081
NOV	476,563	4,137,304	2,914,933	7,528,800
DIC	491,593	4,514,094	3,051,757	8,057,444
TOTAL	5,681,973	49,345,754	34,666,185	89,693,912
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL				7,474,492.67
FACTOR MENSUAL PARA DICIEMBRE (Fm)				0.928



Anexo 6. Determinación del Modelo Logístico.

Ts	253						
a	142.85						
b	-0.071556						
AÑOS	POBLACION URBANA	VEHICULOS LIVIANOS	Tm	Ln(Ts/Tm -1)	Y = a+ bt	Tm CORREGIDO	LIVIANOS AJUSTADOS
1969	93953	1935	20.60	2.42	1.95	31.39	2949
1970	98258	2435	24.782	2.22	1.88	33.41	3283
1971	102760	3173	30.878	1.97	1.81	35.54	3653
1972	107469	3529	32.837	1.90	1.74	37.79	4061
1973	112394	3921	34.886	1.83	1.67	40.15	4512
1974	117544	4638	39.458	1.69	1.60	42.62	5010
1975	122907	5710	46.458	1.49	1.52	45.22	5558
1976	128516	6588	51.262	1.37	1.45	47.94	6161
1977	134380	8106	60.321	1.16	1.38	50.78	6824
1978	140512	8877	63.176	1.10	1.31	53.75	7552
1979	146923	11193	76.183	0.84	1.24	56.84	8351
1980	153627	11632	75.716	0.85	1.17	60.05	9226
1981	160637	12070	75.138	0.86	1.10	63.39	10183
1982	167967	13383	79.676	0.78	1.02	66.85	11229
1983	173494	14695	84.700	0.69	0.95	70.43	12219
1984	179202	15453	86.232	0.66	0.88	74.12	13283
1985	185098	16113	87.051	0.65	0.81	77.93	14424
1986	191188	18887	98.788	0.45	0.74	81.84	15646
1987	197478	18847	95.438	0.50	0.67	85.85	16953
1988	203976	18806	92.197	0.56	0.59	89.95	18348
1989	210687	23028	109.300	0.27	0.52	94.14	19835
1990	217619	20648	94.881	0.51	0.45	98.41	21416
1991	224848	22202	98.742	0.45	0.38	102.74	23102
1992	240036	22353	93.124	0.54	0.31	107.14	25717
1993	240036	22504	93.753	0.53	0.24	111.58	26784
1994	248011	21940	88.464	0.62	0.17	116.06	28784
1995	256250	25658	100.129	0.42	0.09	120.57	30895
1996	264763	27067	102.231	0.39	0.02	125.09	33119
1997	273559	30957	113.164	0.21	-0.05	129.61	35457
1998	282647	31006	109.699	0.27	-0.12	134.13	37912
1999	292038	35703	122.255	0.07	-0.19	138.63	40485
2000	301740	42924	142.255	-0.25	-0.26	143.10	43178
2001	311764	44586	143.012	-0.26	-0.34	147.52	45992
2002	320575	44282	138.133	-0.18	-0.41	151.90	48694
2003	329636	52737	159.986	-0.54	-0.48	156.21	51491
2004	338952	56664	167.174	-0.67	-0.55	160.44	54383



2005	348632	63779	182.941	-0.96	-0.62	164.60	57386
2006	358383	71180	198.614	-1.30	-0.69	168.67	60449
2007	368512	71206	193.226	-1.17	-0.76	172.65	63622
2008	378927	71232	187.983	-1.06	-0.84	176.52	66887
2009	389637	71599	183.758	-0.98	-0.91	180.28	70244
2010	400649	71965	179.621	-0.90	-0.98	183.93	73692
2011	411973	78243	189.923	-1.10	-1.05	187.47	77231
2012	423616	79906	188.628	-1.08	-1.12	190.88	80860
2013	435589	85904	197.213	-1.26	-1.19	194.17	84580
2014	447900	86176	192.400	-1.16	-1.27	197.34	88389
2015	460559	89864	195.119	-1.22	-1.34	200.39	92289
2016	473576	89961	189.961	-1.10	-1.41	203.31	96281
2017	486961				-1.48	206.10	100363
2018	500724				-1.55	208.77	104538
2019	514876				-1.62	211.32	108806
2020	529428				-1.70	213.76	113168
2021	544391				-1.77	216.07	117627
2022	559777				-1.84	218.27	122183
2023	575598				-1.909707	220.3595155	126838
2024	591866				-1.98	222.34	131596
2025	608594				-2.05	224.22	136457
2026	625795				-2.12	225.99	141425
2027	643482				-2.20	227.67	146502
2028	661669				-2.27	229.26	151691
2029	680369				-2.34	230.75	156996
2030	699599				-2.41	232.16	162420
2031	719372				-2.48	233.49	167965
2032	739703				-2.55	234.74	173637
2033	760610				-2.63	235.91	179439
2034	782107				-2.70	237.02	185375
2035	804211				-2.77	238.06	191449
2036	826941				-2.84	239.03	197667



Anexo 7. Requisitos de puntuación para cada uno de los criterios de la etapa de operación y mantenimiento en el programa INVEST: Versión 1.2.

INVEST v1.2: Operaciones y Mantenimiento								
Proyecto			PUNTAJE ESTADO ACTUAL			PUNTAJE ALTERNATIVA I		
Nota: Las puntuaciones de cada criterio, como suma de sus preguntas, llenan la hoja de trabajo de resumen automáticamente.		210	26	0	0	92	0	0
Tal vez = puntuación propuesta para este criterio, pero necesita información adicional antes de determinar una respuesta "sí" o "no". Por ejemplo, un equipo de proyecto puede necesitar consultar a expertos y / o personal adicionales para confirmar si se han cumplido o no los requisitos de criterio antes de determinar el total de puntos.		Puntos	Si	Tal vez	No	Si	Tal vez	No
QM-01	Plan de Sostenibilidad Interna - Hasta 15 puntos	15	0	0	0	10	0	0
QM-01.1	¿Tiene la agencia un compromiso de sostenibilidad respaldado por altos ejecutivos?	2			0	2		
QM-01.2	¿Ha desarrollado la agencia un plan comprensivo de sostenibilidad interna que incluye metas, métricas de desempeño, metas cuantificables, estrategias y acciones?	4			0	4		
QM-01.3	¿Está integrado el Plan Integral de Sostenibilidad Interna con la coordinación, implementación y / o seguimiento y seguimiento?							
QM-01.3a	Coordinación: ¿Está el plan integrado con objetivos de sostenibilidad nacionales, estatales y / o regionales?	1			0			0
QM-01.3b	Seguimiento y seguimiento: ¿Incluye el plan un sistema de medición del desempeño, un plan para monitorear el progreso del plan y un calendario para actualizar el plan según sea necesario?	1			0			0
QM-01.3c	Implementación: ¿Tiene el plan una sección de implementación que incluya partes responsables, plazos y fuentes de financiamiento potenciales?	1			0			0
QM-01.4a	¿Se proporciona entrenamiento de sostenibilidad para el personal, incluyendo una introducción al Plan Integral de Sostenibilidad Interna?	1			0			0
QM-01.4b	¿La agencia tiene un empleado o un comité de empleados que promueve la sostenibilidad?	1			0	1		
QM-01.5a	¿La agencia implementa al menos dos opciones de gestión de la demanda de viajes?	1			0	1		
QM-01.5b	¿La agencia provee apoyo para vehículos de combustible alternativo usados para conmutar?	1			0			0
QM-01.6	¿La agencia tiene un CISP por OM-02.2 y monitorea el progreso hacia metas por lo menos un año después del establecimiento de la meta y muestra un avance mensurable hacia metas declaradas?	2			0	2		



		Puntos	Si	Tal vez	No	Si	Tal vez	No
QM-02	Eficiencia y uso de la energía eléctrica - Hasta 15 puntos	15	0	0	0	5	0	0
QM-02.1	¿La agencia ha establecido metas de reducción de energía o uso de energía renovable?							
QM-02.1a	¿Ha establecido la agencia una meta de reducción de energía que se obtendrá?	2			0	2		
QM-02.1b	¿Ha establecido la agencia una meta para la compra de RECs que es al menos equivalente a una de las opciones listadas?	2			0	0		
QM-02.2	¿Ha desarrollado la agencia un plan documentado que describe cómo se cumplirán los objetivos de reducción de energía y energía renovable establecidos anteriormente?							
	No	0			0			
	Se desarrolla un plan para cumplir con las metas de reducción de energía o uso de energía renovable.	2				2		
	Se desarrolla un plan para cumplir con las metas de reducción de energía y uso de energía renovable.	4						
QM-02.3	¿La agencia mantiene un sistema de monitoreo de electricidad para operaciones y mantenimiento que rastrea el uso de electricidad para todas las instalaciones de autopistas?	2			0			0
QM-02.4a	¿Ha implementado la agencia un programa de concienciación de los empleados?	1			0			0
QM-02.4b	¿Emplea la agencia un representante o mantiene un comité de empleados centrado en la reducción del consumo de energía y la sostenibilidad?	1			0	1		
QM-02.5a	¿La agencia ejecuta un contrato por un mínimo de dos años de energía renovable o crea y opera instalaciones de energía renovable dentro de las propiedades propiedad de la agencia para cumplir con la meta seleccionada?	2			0			0
QM-02.5b	¿La Agencia monitorea el desempeño y demuestra el logro de la Meta de Reducción de Energía del Organismo al menos en un período de un año?	1			0			0
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-03	Eficiencia y uso del combustible para vehículos - Hasta 15 puntos	15	4	0	0	9	0	0
QM-03.1	¿La agencia ha fijado metas para la reducción del uso de combustibles fósiles y ha establecido un marco de tiempo en el cual estas metas deben ser alcanzadas?							



	No	0						
	Las metas son establecidas por la agencia tanto para la flota ligera como para los equipos pesados y todo terreno. O los objetivos son establecidos para la luz y / o pesados por una junta directiva solamente.	2	2			2		
	La agencia fija las metas tanto para la flota de vehículos ligeros como para los equipos pesados y todoterreno.	4						
QM-03.2	¿Tiene la agencia un plan documentado de manejo de la flota?							
	No	0						
	Se desarrolla un plan tanto para la flota de vehículos ligeros como para los equipos pesados y todoterreno.	2	2			2		
	Se desarrolla un plan tanto para la flota de vehículos ligeros como para los equipos pesados y todoterreno.	4						
QM-03.3	¿Está la agencia probando activamente el uso de combustibles alternativos o métodos de reducción?	3			0	3		
QM-03.4	¿La agencia tiene un programa de seguimiento de flota, hoja de cálculo u otro documento que monitorea el uso del vehículo y el consumo de combustible?	2			0	2		
QM-03.5	¿Tiene la agencia un sistema de seguimiento de la flota y lo ha utilizado para demostrar el progreso por lo menos un año?	2			0			0
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-04	Reducir, Reutilizar y Reciclar - Hasta 15 puntos	15	4	0	0	10	0	0
QM-04.1	¿Ha establecido la agencia objetivos de operación y mantenimiento, reducción de material, reutilización y reciclaje?							
	No se establecen metas.	0						
	Los objetivos se fijan para los residuos administrativos o para las operaciones y los residuos de mantenimiento.	2	2					
	Se establecen metas tanto para los residuos administrativos como para las operaciones y los residuos de mantenimiento.	4				4		
QM-04.2	¿Tiene la agencia un plan documentado que describe cómo se logran las metas de reducción, reutilización y reciclado?							



	No se desarrolla ningún plan o el plan no está vinculado a las metas establecidas en el Requisito QM-04.1.	0						
	Se desarrolla un plan para los residuos administrativos o para las operaciones y los residuos de mantenimiento.	2	2					
	Se desarrolla un plan tanto para residuos administrativos como para operaciones y residuos de mantenimiento.	4				4		
QM-04.3	¿La agencia rastrea los flujos de desechos e informa de la cantidad de residuos producidos y la cantidad de material reducido, reutilizado y reciclado?							
	El progreso no se mide o se mide y no se compara con los objetivos de rendimiento establecidos en el requisito QM-04.1.	0			0			
	Los flujos de desechos se rastrean tanto para residuos administrativos como para operaciones y residuos de mantenimiento.	2				2		
	Los flujos de desechos se rastrean tanto para residuos administrativos como para operaciones y residuos de mantenimiento.	4						
QM-04.4	¿La agencia ha rastreado el progreso hacia estas metas con el sistema de medición del desempeño por al menos un año y ha demostrado el progreso hacia metas declaradas?	3			0			0
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-05	Gestión de Seguridad - Hasta 15 puntos	15	0	0	0	7	0	0
QM-05.1	¿Es la agencia una agencia estatal o una agencia regional?							
	Estado:							
QM-05.1a	Al evaluar el desempeño de seguridad del estado, ¿cuál de las siguientes opciones aplica?							
	El estado cuantifica el desempeño de seguridad del estado en términos de una tasa o únicamente con el uso de una métrica.	0			0			0
	La agencia identifica las medidas de desempeño de seguridad para el estado y evalúa el desempeño de seguridad del estado a través de una evaluación cuantitativa del desempeño de seguridad del estado.	2						
	Regional:							
QM-05.1b	Al evaluar el desempeño de seguridad de la región, ¿cuál de las siguientes opciones aplica?							
	La agencia cuantifica el desempeño de seguridad de la región en términos de tasa o solamente con	0						



	el uso del número total de muertes o lesiones mortales y graves en la región.							
	La agencia realiza una evaluación de desempeño de seguridad que cumple con los requisitos establecidos en OM-05.1a.	2						
OM-05.1c	Al identificar las métricas de desempeño de seguridad para la reducción de lesiones mortales y graves en el estado o región, ¿cuál de las siguientes opciones aplica?							
	La agencia usa la tasa o el número total de lesiones fatales y serias como la única métrica de desempeño de seguridad para el estado o región.	0			0			0
	La agencia identifica métricas de desempeño de seguridad para cada una de las áreas de énfasis identificadas durante la evaluación del desempeño de seguridad del estado o región.	2						
OM-05.2a	¿La agencia ha establecido metas y metas para cada una de las métricas de desempeño de seguridad identificadas para la reducción de lesiones fatales y graves?							
	La agencia no ha establecido metas de desempeño de seguridad, o las metas de desempeño se expresan únicamente como una tasa.	0			0			
	La agencia ha establecido metas de desempeño de seguridad operacional que pueden alcanzarse fácilmente bajo las prioridades actuales de la actividad del programa y de la agencia.	1				1		
	La agencia ha establecido metas a largo plazo y metas intermedias para mejoras en las métricas de desempeño de seguridad además de la meta de reducción de mortalidad del Estado.	2						
OM-05.2b	¿Ha integrado la agencia estos objetivos para tomar decisiones sobre los recursos de mantenimiento, reparación y operaciones?	1			0			
OM-05.3a	¿Tiene la agencia un plan para apoyar la reducción de lesiones mortales y graves en el estado o región?							
	No existe plan, o el plan no cumple con los requisitos enumerados en OM-05.3a.	0			0			
	La agencia ha desarrollado un plan estatal o regional de seguridad como parte de un esfuerzo de colaboración a través de todos los niveles del gobierno.	1				1		
OM-05.3b	¿Incluye el plan estrategias y actividades específicas para apoyar la mejora de las capacidades de datos y análisis en todo el sistema de autopistas públicas?	1			0	1		



QM-05.4	¿Es la agencia una agencia estatal o una agencia regional?							
	Estado:	0			0			
QM-05.4a	¿Ha implementado el estado el plan de seguridad?							
	No existe un plan o la implementación de proyectos, actividades y programas ocurren dentro de las agencias sin integración o colaboración entre agencias estatales y regionales.	0			0			
	El Estado ha implementado el plan de manera integrada y multidisciplinaria.	3			3			
	Regional:	0						
QM-05.4b	¿Ha implementado la región el plan de seguridad?							
	No existe un plan o la implementación de proyectos, actividades y programas ocurren dentro de las agencias sin integración o colaboración entre los organismos estatales y regionales en apoyo del objetivo común de reducir las lesiones mortales y graves en el sistema de autopistas públicas.	0						
	La agencia implementó el plan en estrecha cooperación con las agencias locales. Facilitar y apoyar la asignación de fondos que refleje las prioridades del plan en la medida de lo posible.	1						
	La agencia adoptó PlanSafe o un programa similar como parte integral del proceso técnico de la agencia para llevar a cabo la planificación del transporte.	3						
QM-05.5	¿Está la agencia midiendo el progreso y monitoreando el desempeño?							
	La agencia está midiendo el progreso y el cambio en el desempeño de la seguridad del sistema basándose únicamente en la tasa global de accidentes, las tasas de accidentes de las instalaciones típicas, la tasa de lesiones mortales y graves o el número total de lesiones fatales y graves.	0			0			
	La agencia está midiendo el progreso usando algunas de las métricas de desempeño de seguridad identificadas.	1			1			
	La agencia está midiendo el desempeño del sistema de autopistas públicas en la región con las métricas de desempeño de seguridad identificadas.							
QM-05.5a	¿Está la agencia usando métodos avanzados y estadísticamente sólidos para realizar	2			0			



	evaluaciones del desempeño de seguridad del sistema?							
QM-05.5b	¿Está la agencia incorporando las evaluaciones de proyectos y programas en el proceso de monitoreo?	1			0			
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-06	Sistema de Seguimiento de Compromisos Ambientales - Hasta 15 puntos	15	4	0	0	9	0	0
QM-06.1	¿Utiliza la Agencia un Sistema Integral de Seguimiento de la Conformidad Ambiental (ECTS)?	2	2			2		
QM-06.2	¿Se identifican algunas de las características clave integradas en el ECTS?							
QM-06.2a	¿Se comunican los compromisos ambientales desde el desarrollo del proyecto hasta las operaciones y el mantenimiento?	1				1		
QM-06.2b	¿Los mecanismos de seguimiento están apalancados?	1				1		
QM-06.2c	¿Se identifica periódicamente la capacitación necesaria para el personal de mantenimiento y operaciones necesario?	1						0
QM-06.2d	¿Se proporcionan los informes periódicos que verifican los compromisos?	1						0
QM-06.2e	¿Se establecen métricas de rendimiento cuantificables para el ECTS?	1				1		
QM-06.3	¿La agencia requiere el uso de ECTS?							
	La agencia cuenta con políticas y procedimientos oficiales que requieren el uso del ECTS por personal de desarrollo de proyectos, construcción, mantenimiento y operaciones.	2	2			2		
QM-06.4	¿Tiene la agencia un ECTS basado en ECTS?							
	La agencia cuenta con un ECTS que es sistema de información geográfica (GIS).	2			0			0
QM-06.5a	¿Se establecen objetivos para el cumplimiento de los compromisos ambientales y establecen un marco temporal en el que se deben alcanzar estos objetivos?	2			0	2		
QM-06.5b	¿Se ha utilizado el sistema de seguimiento para medir el desempeño y rastrear el progreso hacia los objetivos del ECTS durante al menos un año y se ha demostrado que se han logrado avances hacia las metas establecidas?	2						0
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-07	Sistema de gestión del pavimento - Hasta 15 puntos	15	1	0	0	1	0	0



QM-07.1	¿Tiene la agencia un sistema de gestión de pavimentos (PMS)?							
	La agencia no tiene un PMS que incluya las seis funciones identificadas.	0						
	La agencia tiene un PMS que incluye las seis funciones identificadas y recoge datos de todo el sistema.	1	1			1		
QM-07.2a	¿Se realiza un seguimiento del rendimiento de la red de pavimento utilizando una de las métricas comunes identificadas?	1			0			0
QM-07.2b	¿La agencia tiene medidas relacionadas con la puntualidad del proyecto de actividades de rehabilitación, preservación y mantenimiento?	2			0			0
QM-07.3	¿La agencia estableció metas de desempeño del sistema de pavimento y monitoreó el progreso hacia metas?							
	La agencia no establece objetivos cuantificables relacionados tanto con la condición como con la oportunidad, como se mencionó anteriormente; o establecer metas cuantificables relacionadas con la condición y la oportunidad, pero no monitorean o no han monitoreado el progreso hacia metas durante al menos un año después del establecimiento de metas.	0			0			0
	La agencia ha fijado metas cuantificables relacionadas con la condición y la puntualidad del proyecto como se indicó anteriormente, incluyendo cuándo se deben alcanzar estos objetivos, y monitorear el progreso hacia metas por lo menos un año después del establecimiento de metas.	2						
QM-07.4	¿La agencia tiene un PMS y aprovecha los datos para demostrar resultados sostenibles?							
QM-07.4a	¿Se priorizan los proyectos basándose en el modelado de sistemas, análisis de escenarios, análisis de trade-off y optimización de sistemas en lugar de un enfoque de "peor primero"?	2						
QM-07.4b	¿Se aprovechan las técnicas de análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) para predecir los costos y para realizar pronósticos presupuestarios a corto y largo plazo?	2						
QM-07.4c	¿Están las necesidades de preservación de pavimento de rutina incluidas en el UPWP o STIP / TIP anual que se basan en las metas de condición y puntualidad?	1						
QM-07.4d	¿Está el PMS apalancado para vincular proyectos de reparación, conservación y mantenimiento de pavimentos a proyectos de capital adyacentes?	2						



QM-07.5	¿La agencia tiene un PMS y considera soluciones de pavimento sostenibles?							
	La agencia está probando soluciones sostenibles de pavimento.	0			0			0
	La agencia cuenta con disposiciones especiales específicas para al menos una solución de pavimento sostenible que permita el uso de esta solución.	1						
	La agencia tiene especificaciones estándar y / o disposiciones especiales específicas para al menos una solución de pavimento sostenible y requiere la consideración de pavimentos sostenibles como primera solución.	2						
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-08	Sistema de Gestión de Puentes - Hasta 15 puntos	15	0	0	0	0	0	0
QM-08.1	¿Tiene la agencia un Sistema de Gestión de Puentes (BMS)?							
	La agencia no tiene un BMS o tiene un BMS pero no recopila datos de todo el sistema.	0			0			0
	La agencia tiene un BMS que incluye al menos cinco de los siete procedimientos anotados anteriormente y recopila datos de todo el sistema.	1						
	La agencia tiene un BMS que incluye en todos los siete procedimientos anotados anteriormente y recoge datos de todo el sistema.	2						
QM-08.2	¿Se realiza un seguimiento del rendimiento de la red del puente?							
QM-08.2a	¿El seguimiento incluye una condición de red de puente que utiliza métricas comunes? ¿Existe una base de datos de la salud estructural para cada puente administrado por la agencia?	1						
QM-08.2b	¿El informe de seguimiento de los límites operacionales (o no tienen límites para informar)?	1						
QM-08.2c	¿El seguimiento tiene medidas relacionadas con la puntualidad del proyecto de actividades de rehabilitación, preservación y mantenimiento?	2						
QM-08.3	¿La agencia establece metas de desempeño del sistema de puentes y monitorea el progreso hacia metas?							
	Establecer metas cuantificables relacionadas con menos de dos de las tres métricas listadas arriba para puentes de agencia; o establecer metas cuantificables relacionadas con al menos dos de las tres métricas mencionadas anteriormente para los puentes de agencia, pero no monitorean o no han monitoreado el progreso hacia metas	0			0			0



	durante al menos un año después del establecimiento de metas.							
	Establecer metas cuantificables relacionadas con al menos dos de las tres métricas mencionadas anteriormente para los puentes de agencia, incluyendo cuándo deben alcanzarse estas metas, y monitorear el progreso hacia los objetivos por lo menos un año después del establecimiento de la meta	1						
	Establecer metas cuantificables relacionadas con las tres métricas listadas arriba para los puentes de agencia, incluyendo cuándo se deben alcanzar estos objetivos, y monitorear el progreso hacia los objetivos por lo menos un año después del establecimiento de la meta	2						
QM-08.4	¿Se utiliza un BMS y se aprovechan los datos para demostrar resultados sostenibles?							
QM-08.4a	¿Se utiliza el BMS para realizar modelos sofisticados, incluyendo previsiones, análisis de escenarios, análisis de trade-off y optimización del sistema?	2						
QM-08.4b	¿Se aprovechan las técnicas de análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) para predecir los costos y para realizar pronósticos presupuestarios a corto y largo plazo?	2						
QM-08.4c	¿Están incluidas las necesidades de preservación de puente de rutina en el UPWP o STIP / TIP anual que se basan en las metas de condición y puntualidad?	1						
QM-08.4d	¿Está el BMS apalancado para vincular proyectos de reparación, conservación y mantenimiento de puentes a proyectos de capital adyacentes?	2						
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-09	Sistema de Gestión de Mantenimiento - Hasta 15 puntos	15	4	0	0	7	0	0
QM-09.1	¿Se identifican algunos de los elementos clave integrados en el Sistema de Gestión de Mantenimiento (MMS)?							
	La agencia no tiene un MMS o tiene un MMS que tiene menos de tres de los módulos enumerados.	0						
	La agencia tiene un MMS que tiene tres o cuatro de los módulos enumerados.	1	1					
	La agencia tiene un MMS que tiene cinco o seis de los módulos enumerados.	2				2		
QM-09.2	¿Utiliza la agencia tecnologías basadas en vehículos para conectarse a MMS?	2			0			0



QM-09.3	¿Los MMS de la agencia integran su PMS, BMS, RMP y TCMP?							
QM-09.3a	¿Están integrados los sistemas de inventario de carreteras en el MMS?	1	1			1		
QM-09.3b	¿Están integrados los Sistemas de Gestión Financiera dentro del MMS?	1	1			1		
QM-09.3c	¿Están integrados los Sistemas de Construcción / Gestión de Proyectos dentro del MMS?	1	1			1		
QM-09.3d	¿Están integrados los Sistemas de Gestión de Equipos dentro del MMS?	1			0	1		
QM-09.3e	¿Está integrado el Sistema de Seguimiento del Compromiso Ambiental dentro del MMS?	1			0	1		
QM-09.4	¿El MMS de la agencia se vincula a su PMS y BMS e intercambia información?	3			0			0
QM-09.5a	¿Tiene la agencia un programa de MQA que relaciona el mantenimiento de carreteras con el desempeño de las carreteras?	2			0			0
QM-09.5b	¿Se está utilizando el programa MQA para ayudar a los gerentes a entender las condiciones de mantenimiento, establecer prioridades y documentar la relación entre costos y resultados?	1						
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-10	Preservación y mantenimiento de la infraestructura vial - Hasta 15 puntos	15	4	0	0	7	0	0
QM-10.1	¿Ha implementado la Agencia un Plan de Mantenimiento de Carreteras (RMP)?							
	La agencia no tiene un RMP que cubre los cuatro sistemas básicos enumerados.	0						
	La agencia tiene un plan de gestión de residuos que consta de varios documentos que cubre sólo los activos básicos.	1	1					
	La agencia tiene un plan de gestión de residuos que consta de múltiples documentos que cubren los activos básicos y al menos dos activos adicionales o la agencia tiene un plan de gestión de residuos consolidado que cubre únicamente los activos principales.	2				2		
	La agencia tiene un PGR que consta de múltiples documentos que cubren los activos básicos y todos los activos adicionales enumerados, o la agencia tiene un PGR consolidado que cubre los activos básicos y al menos dos de los activos adicionales enumerados.	3						
	La agencia tiene un PGR consolidado que cubre los activos básicos y todos los activos adicionales listados.	4						



QM-10.2a	¿Se asigna el financiamiento apropiado para realizar actividades de mantenimiento preventivo, mantenimiento rutinario y reparación en el plan de gestión de refrigerantes y plan de trabajo anual?	3	3			3		
QM-10.2b	¿El PGR resalta las actividades que contribuyen a la sostenibilidad durante el mantenimiento y las operaciones?	2			0			0
QM-10.2c	¿Incluye el RMP actividades que contribuyen a la sostenibilidad de los activos de infraestructura?	2			0	2		
QM-10.3a	¿Incluye el plan medidas de desempeño que pueden usarse para monitorear los efectos de la implementación del plan?	2			0			0
QM-10.3b	¿La agencia monitorea el progreso hacia los objetivos por lo menos un año después del establecimiento de la meta y muestra un avance mensurable hacia metas declaradas?	2						
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-11	Mantenimiento de Infraestructura de Control de Tráfico - Hasta 15 puntos	15	2	0	0	5	0	0
QM-11.1	¿Ha implementado la Agencia un Plan de Mantenimiento de Control de Tráfico (TCMP)?							
	La agencia no tiene un TCMP que cubra los artículos enumerados.	0						
	La agencia tiene un TCMP que consta de múltiples documentos que cubre todos los elementos requeridos o la agencia tiene un TCMP consolidado que cubre por lo menos cuatro de los seis elementos enumerados.	1	1					
	La agencia tiene un TCMP consolidado que cubre todos los elementos requeridos.	2				2		
QM-11.2a	¿La agencia ha establecido métricas de desempeño cuantificables para la TCMP?	2			0	2		
QM-11.2b	¿La agencia los usa para evaluar el desempeño general del TCMP?	2						0
QM-11.3a	¿Establece metas cuantificables relacionadas con las métricas anteriores para los dispositivos de control de tráfico de la agencia?	1	1			1		
QM-11.3b	¿La agencia monitorea el progreso hacia los objetivos por lo menos un año después del establecimiento de la meta y muestra un avance mensurable hacia metas declaradas?	2			0			0
QM-11.4a	¿El PGCM aborda específicamente la sostenibilidad y destaca procedimientos, especificaciones y actividades que contribuyen a la sostenibilidad durante las actividades de conservación y mantenimiento?	3			0			0



QM-11.4b	¿El PGCM se refiere específicamente a la sostenibilidad e incluye procedimientos, especificaciones o medidas que contribuyen a la sostenibilidad de los activos de infraestructura?	3			0			0
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-12	Programa de Gestión del Tiempo en las Carreteras - Hasta 15 puntos	15	0	0	0	6	0	0
QM-12.1a	¿Se ha desarrollado un RWMP que incluya estrategias que puedan ser usadas para mitigar los efectos del tiempo en el tráfico?							
QM-12.1a	¿RMP cubre todas las geografías y tipos de clima dentro de la agencia?							
	Sí, en varios documentos.	1						
	Sí, en un plan consolidado.	2				2		
QM-12.1b	¿Responde el RWMP a los cambios climáticos a largo plazo basados en predicciones a largo plazo y no sólo en datos meteorológicos históricos?	2				2		
QM-12.2a	¿La agencia ha establecido métricas de desempeño cuantificables para el programa RWMP?	2			0	2		
QM-12.2b	¿La agencia ha monitoreado el progreso hacia las metas establecidas en QM-12.2a por lo menos un año después del establecimiento de la meta y mostró un avance mensurable hacia las metas establecidas?	1						0
QM-12.3	¿Ha implementado la agencia un Sistema de Información Meteorológica de Carreteras (RWIS)?							
	La agencia no tiene un RWIS.	0			0			0
	La agencia está implementando un RWIS en áreas selectas identificadas, pero no ha implementado un sistema a nivel de toda la organización.	1						
	La agencia está implementando una agencia de RWIS en toda la mayor parte o en todas las áreas identificadas como vulnerables a las condiciones climáticas y comparte los datos con el NWS.	2						
QM-12.4a	¿La agencia tiene un RWMP que incluye, como mínimo, los elementos listados específicos para el control de nieve y hielo?	1			0			0
QM-12.4b	¿El programa de la agencia incluye estándares de desempeño que tienen en cuenta la sostenibilidad, y demuestran una reducción en el uso de combustible de los materiales y camiones?	1						
QM-12.5	¿La agencia implementó exitosamente un Plan de Manejo de Materiales para monitorear cantidades de sal aplicada y nivel de servicio?	2			0			0



QM-12.6	¿Ha implementado la Agencia un Sistema de Apoyo a la Decisión de Mantenimiento?							
	La agencia no tiene un MDSS.	0			0			0
	La agencia tiene procesos de MDSS que no están basados en RWIS de carretera.	1						
	La agencia tiene procesos de MDSS que están basados tanto en el RWIS de carretera como en las tecnologías de detección montadas en vehículos.	2						
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-13	Gestión y Operaciones de Transporte - Hasta 15 puntos	15	3	0	0	11	0	0
QM-13.1	¿Ha tomado la agencia medidas mejoradas o aceleradas para mejorar la movilidad y el nivel de servicio del usuario?	2			0	2		
QM-13.2	¿Cuántas categorías de tecnologías ITS se utilizaron en este proyecto? Consulte la Tabla QM-13.2.A y sus instrucciones.	6	3			3		
QM-13.3	¿Ha adaptado la agencia la Arquitectura Nacional de STI para crear una arquitectura regional basada en las necesidades específicas de la agencia?	2			0	2		
QM-13.4	¿Ha integrado la agencia un sistema para asegurar que las necesidades de las estrategias de M & D se consideren plenamente en el diseño de infraestructura de carreteras?	2			0	2		
QM-13.5a	¿Se han establecido métricas de desempeño, incluyendo al menos una relacionada con la seguridad, la movilidad y la integración de las estrategias de M & D en el diseño?	2			0	2		
QM-13.5b	¿Se ha medido el progreso hacia las metas durante al menos un año usando las medidas de desempeño establecidas en QM-13.5a y se ha demostrado un progreso medible hacia metas declaradas?	1						0
		Puntos	Si	Talvez	No	Si	Talvez	No
QM-14	Control de tráfico en la zona de trabajo: hasta 15 puntos	15	0	0	0	5	0	0
QM-14.1	¿La agencia tiene un Programa de Control de Tráfico en la Zona de Trabajo (WZTC)?							
	La agencia no tiene un programa WZTC que cubra dos o más de los elementos enumerados.	0			0			
	La agencia tiene un programa de WZTC que cubre dos o tres de los elementos requeridos.	1				1		
	La agencia tiene un programa WZTC que cubre cuatro o cinco de los elementos requeridos.	2						



	La agencia tiene un programa WZTC que cubre seis o siete de los elementos requeridos.	3						
QM-14.2a	¿La agencia tiene métricas de desempeño cuantificables para el programa WZTC?	2			0	2		
QM-14.2b	¿La agencia monitorea el progreso hacia los objetivos por lo menos un año después del establecimiento de la meta y muestra un avance mensurable hacia metas declaradas?	2						0
QM-14.3	¿Se usan los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) para anticipar y reducir la congestión?							
	La agencia no utiliza ITS para anticipar y reducir la congestión.	0			0			
	La agencia permite y tiene unos pocos proyectos utilizando ITS para anticipar y reducir la congestión.	1				1		
	La agencia utiliza habitualmente ITS para anticipar y reducir la congestión.	2						
QM-14.4	¿La agencia aplica y revisa las tecnologías e innovaciones ITS?	1			0			0
QM-14.5	¿Utiliza la agencia incentivos o desincentivos de contratación para alentar a los contratistas a reducir y optimizar los plazos de construcción?							
	La agencia no utiliza contratos innovadores para alentar a los contratistas a reducir y optimizar los plazos de construcción.	0			0			0
	La agencia cuenta con casos de prueba que utilizan contratos innovadores para alentar a los contratistas a reducir y optimizar los plazos de construcción.	1						
	La agencia incluye rutinariamente el uso de contratos innovadores para alentar a los contratistas a reducir y optimizar los plazos de construcción en contratos de diseño y construcción.	2						
	La agencia incluye habitualmente el uso de contratos innovadores para alentar a los contratistas a reducir y optimizar los plazos de construcción en los contratos de diseño-puja-construcción y diseño-construcción.	3						
QM-14.6	¿Utiliza la agencia una participación pública o un representante de WZTC para comunicarse regularmente con propietarios y negocios afectados por el trabajo?	1			0			0
QM-14.7	¿Participa la agencia en la Semana de Concienciación de la Zona de Trabajo Nacional y desarrolla una campaña para promover la concienciación sobre la seguridad en las zonas de trabajo?	1			0	1		



Anexo 8. Planos del diseño geométrico de la alternativa 2.