



**BUAP**

# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**Facultad de Ingeniería**

**Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado**

**DETERMINACIÓN DE NIVELES DE SERVICIO DE INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS, NO SEMAFORIZADAS Y ARTERIAS URBANAS, CONSIDERANDO EL ESTADO FÍSICO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO Y REDUCTORES DE VELOCIDAD MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE EN VISUAL BASIC, PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN Y POSIBLES PROPUESTAS DE SOLUCIÓN.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**Con opción terminal en Tránsito y Transporte**

Presenta:

**ING. ALEJANDRO MALDONADO TITLA**

Asesor de tesis:

**M.I. José Luis Stefanoni Minutti**

Coasesor de tesis:

**M.I. Juan José Benítez Suárez**

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos principalmente a Dios, por la oportunidad de haberme permitido superarme en todos los ámbitos de mi vida, y en esta ocasión, en mi crecimiento profesional.

Con profunda estima y gratitud expreso mis agradecimientos a toda la planta docente que contribuyó con su dedicación para despertar en mi el interés de persistir en esta especialidad de la ingeniería. En especial a mi director de Tesis, el Maestro José Luis Stefanoni Minutti, quien con su estimable guía ha sido pilar fundamental para el desarrollo de esta investigación.

Mi gratitud se extiende a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y en especial a la Facultad de Ingeniería, mi *alma mater*, por fomentar el pensamiento libre para una vida mejor.

*Con amor a mis padres y hermanos, por creer en mi y estar conmigo  
en todos los momentos importantes de mi vida.*

*A mi esposa Gaby, por su paciencia y comprensión.*

# INDICE

CAPITULO 1 Descripción general .....	1
1.1    Introducción .....	1
1.2    Antecedentes.....	2
1.3    Situación actual .....	4
1.4    Justificación .....	6
1.5    Objetivos.....	7
1.5.1    Objetivos generales.....	7
1.5.2    Objetivos particulares .....	8
1.6    Metodología.....	8
1.7    Marco de referencia.....	10
CAPÍTULO 2 La regularidad superficial en el nivel de servicio de intersecciones y vialidades urbanas. ....	15
2.1    Antecedentes.....	15
2.2    Índice de Rugosidad Internacional, IRI.....	15
2.3    Nivel de servicio en Intersecciones viales semaforizadas.....	18
2.3.1    Definiciones.....	18
2.3.2    Usos específicos del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas.....	20
2.3.3    Método para calcular el nivel de servicio LOS en intersecciones semaforizadas. ....	21
2.4    Nivel de servicio en arterias viales urbanas. ....	41
2.4.1    Definiciones.....	41
2.4.2    Usos específicos del nivel de servicio en arterias viales.....	41
2.4.3    Método para calcular el nivel de servicio LOS en arterias viales semaforizadas. ....	41
2.5    Relación de IRI con nivel de servicio en Intersecciones viales semaforizadas y arterias viales. ....	50
2.5.1    Introducción.....	50
2.5.2    Antecedentes.....	51
2.5.3    Nivel de servicio en intersecciones viales considerando los efectos del IRI y ancho de carril.....	53
2.5.4    Nivel de servicio en arterias viales considerando los efectos del IRI. ....	63
2.6    Conclusión capitular .....	66

CAPITULO 3 Presentación de la aplicación: MASTER TRANSIT (Programación en Visual Basic) .....	70
3.1    Introducción .....	70
3.2    Fases del proceso de programación en Visual Basic.....	70
3.3    Programación de Intersecciones semaforizadas.....	74
3.4    Programación de Arterias Urbanas.....	85
3.5    Programación de Intersecciones no semaforizadas.....	89
3.6    Programación de Intersecciones no semaforizadas en “Cruz” .....	91
3.7    Programación de Intersecciones no semaforizadas en “T” .....	95
3.8    Conclusión capitular .....	99
CAPITULO 4 Estudio de caso utilizando la aplicación MASTER TRANSIT.....	101
4.1    Introducción .....	101
4.2    Estudio de caso de una intersección semaforizada .....	102
4.3    Estudio de caso de una arteria vial.....	110
4.4    Conclusión capitular .....	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	118
5.1    Conclusiones .....	118
5.2    Recomendaciones .....	122
BIBLIOGRAFÍA .....	124
ANEXOS .....	127

## INTRODUCCIÓN

La eficiencia en la red vial urbana es sin duda un factor imperante para el desarrollo económico de una región. El estudio de intersecciones viales no semaforizadas y semaforizadas, así como de arterias viales, nos conducen a sumar esfuerzos para solucionar los problemas de tránsito que actualmente sufren muchas ciudades del territorio mexicano incluida la capital poblana. El crecimiento de las ciudades ha obligado a las autoridades a buscar alternativas que permitan el control y la gestión del tránsito mediante soluciones técnicas, sustentables y sostenibles.

Para la ingeniería de tránsito es fundamental el análisis de las demoras en las intersecciones viales, ya que estas son la causa principal del incremento de los tiempos de traslado. Por lo tanto, podemos afirmar que la eficiencia de la red vial urbana está en función de reducir esos tiempos. Para ello es importante considerar todos los factores que intervienen en la eficiencia de una intersección y de una arteria vial, no solo deben ser los efectos del tránsito, sino que además deben de considerarse los efectos del estado físico del camino o de la estructura de los pavimentos mediante el índice de regularidad internacional, por sus siglas en ingles IRI.

En este trabajo de investigación se determina mediante el uso de ecuaciones que explican el flujo de saturación en las intersecciones viales, las ecuaciones que nos conducen a proponer un factor de reducción por efectos de IRI y ancho de carril para intersecciones semaforizadas, con la ayuda de la información obtenida en la publicación técnica No. 262 emitida por el Instituto Mexicano del Transporte.

Por otra parte se desarrolla una aplicación en el lenguaje de programación de Visual Basic, que nos facilita el proceso de cálculo para determina el nivel de servicio de las intersecciones y arterias viales considerando los efectos de IRI y en el caso de intersecciones semaforizadas, también el ancho de carril.

# CAPITULO 1 Descripción general

## 1.1 Introducción

El desarrollo de las ciudades y el crecimiento de la mancha urbana en diferentes puntos del territorio mexicano, han traído como consecuencia el incremento de la demanda en la red vial urbana de las distintas regiones de nuestro país. Los centros y zonas de atracción y generación de viajes a menudo han surgido como consecuencia de satisfacer la necesidad que tienen las personas de transportarse para atender sus diferentes actividades cotidianas, tales como: el transporte de mercancías, ir al trabajo, ir a la escuela, ir a una consulta médica, o por recreación, por mencionar algunos motivos de viaje; de ahí que desde la perspectiva económica la eficiencia de la red vial urbana es un factor primordial para el desarrollo de una región.

Por otra parte, el volumen vehicular a nivel mundial se ha incrementado aceleradamente en tal magnitud que en algunas ciudades la cantidad de vehículos en uno o más puntos de la vía excede el volumen máximo permitido o no soporta ciertas capacidades de transporte (Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia, 2021).

En los últimos cinco años, el parque vehicular en el estado de Puebla, que está compuesto por vehículos particulares, camiones para pasajeros, unidades de carga y motocicletas, creció 13 por ciento, al llegar a un millón 269 mil 822 unidades, reveló el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). (López, 2024)

En ocasiones las autoridades gubernamentales han intentado resolver los problemas de movilidad mediante la construcción de infraestructura vial, considerando que esta solución es la más adecuada para aliviar los problemas de tránsito, desafortunadamente en muchos casos se convierten en gastos al erario que no logran justificarse socialmente. Por lo tanto, es preciso afirmar que el desconocimiento técnico de la operación de una red vial urbana trae como consecuencia la toma de malas decisiones en la gestión del tránsito. La planeación en la gestión del tránsito vehicular permite evaluar las condiciones actuales de operación de una vía, detectando oportunamente los factores que merman el nivel de su eficiencia y funcionamiento.

Actualmente las herramientas tecnológicas han facilitado la solución a procesos de cálculo, obtención de resultados y manejo de bases de datos. Por lo tanto, si se cuenta con las herramientas tecnológicas necesarias, es posible evaluar con mayor eficiencia las condiciones de operación de una red vial urbana.

## 1.2 Antecedentes

En el marco de la agenda 2030 de la ONU, se han puntualizado diecisiete objetivos de desarrollo sostenible, dentro de los cuales el objetivo once referente a *ciudades y comunidades sostenibles* habla sobre lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. En este contexto, una de las principales preocupaciones de esta citada agenda es que las ciudades del mundo no están preparadas para el futuro, es decir, que el crecimiento acelerado y desordenado de la población genere problemas en los diferentes sectores de la sociedad, incluyendo el transporte en sus distintas modalidades y consecuentemente en la red vial

urbana, que debe ser capaz de sostener la demanda de viajes que tienen las personas para el desarrollo de sus diversas actividades económicas.

Para alcanzar el objetivo 11, los esfuerzos deben centrarse en aplicar políticas y prácticas de desarrollo urbano inclusivo, resiliente y sostenible que den prioridad al acceso a los servicios básicos, a la vivienda a precios asequibles, al *transporte eficiente* y a los espacios verdes para todo el mundo. (ONU, 2025)

En 1950 el Bureau of Public Roads publicó la primera edición del manual de Capacidad Vial (MCV) como una respuesta al rápido incremento de un programa de apoyo para construcción vial en los E. U. A., al finalizar la segunda guerra mundial (IMT, 1991).

Con el paso del tiempo se han publicado actualizaciones del Highway Capacity Manual (HCM) por la Transportation Research Board en el que se incluye el nivel de servicio LOS, por sus siglas en inglés, que es una medida que indica la calidad de operación de una intersección o arteria vial. Se clasifica en diferentes niveles que van desde "A" (flujo libre) hasta "F" (flujo altamente congestionado). Sin embargo, calcular estos niveles de servicio de forma precisa requiere analizar diversos parámetros, como el volumen de tráfico, los tiempos de espera, la velocidad promedio y la capacidad.

Con el avance computacional de las últimas décadas se han desarrollado diversos lenguajes de programación que han contribuido a eficientar y sistematizar los procesos de cálculo en diversas áreas de la ciencia. Visual Basic es hoy el lenguaje de programación más popular del mundo. Es el sueño del programador de aplicaciones. Es un producto con una interfaz gráfica de usuario para crear aplicaciones para Windows basado en el lenguaje Basic y en la programación orientada a objetos (Sierra, 2006).

El lenguaje de programación de Visual Basic permite desarrollar aplicaciones que den soluciones según las necesidades particulares de cualquier área tecnológica en la que se requiera sistematizar procesos de cálculo.

### 1.3 Situación actual

En la actualidad la ciudad de Puebla enfrenta grandes retos para garantizar una red vial urbana eficiente y sostenible, ya que no se cuenta con un plan integral de mantenimiento vial urbano, se carece de estaciones de monitoreo del tránsito, o de un centro de control semafórico.

Para el segundo trimestre del año 2023, la ciudad de Puebla ocupa el catorceavo lugar a nivel nacional con un aumento del 3.6 % en el total de la actividad económica (INEGI, 2023). Por lo tanto, la ciudad de Puebla enfrenta grandes retos en su infraestructura vial para eficientar el transporte de las personas a sus diferentes destinos y actividades. Sin embargo, la falta de mantenimiento a la red urbana ha incidido en el incremento de deterioros a la superficie de rodamiento de los caminos, siendo ésta la principal preocupación de los usuarios al verse afectados por el incremento en los costos de mantenimiento de sus vehículos y a los retrasos generados por las calles intransitables. La falta de coordinación de los semáforos también es un factor que los usuarios consideran preocupante por la generación de congestión vial e incrementos en los tiempos de traslado (Espejel, 2024).

Existen diversas fuentes bibliográficas que hablan sobre sistemas de transporte y gestión del tránsito, la última actualización del manual de capacidad de carreteras, el HCM, ha sido publicada en el año 2016, el cual es una herramienta fundamental para ingenieros de transporte,

planificadores urbanos y gobiernos, ya que permite: analizar y mejorar el desempeño de redes viales, evaluar la eficiencia del tráfico bajo diferentes condiciones, planificar mejoras y expansiones en la infraestructura de transporte, asegurar una movilidad segura, eficiente y sostenible en los sistemas viales. Este manual es ampliamente utilizado en Estados Unidos y también es tomado como referencia en otros países para proyectos relacionados con la capacidad vial y el diseño de carreteras.

En México, el Instituto Mexicano del Transporte, es quien ha tomado como referencia al HCM principalmente para evaluar la capacidad de carreteras federales. Sin embargo, se pueden utilizar algunos datos de las publicaciones técnicas del IMT para aplicarlas en el estudio de intersecciones semaforizadas y arterias viales.

En materia de herramientas tecnológicas digitales, actualmente existen paquetes computacionales que abordan problemas de transporte, aplicando innovadores avances en inteligencia artificial, análisis de datos y optimización de rutas para mejorar la movilidad y la gestión del tráfico. Algunos de los softwares más populares son: PTV Vissim, TransCad, tecnologías HERE, SIG-T (Sistemas de Información geográfica para transporte), entre otros.

En estos tiempos donde se habla mucho de los avances tecnológicos en inteligencia artificial, y un sin número de aplicaciones para teléfonos inteligentes, así como paquetes computacionales que resuelven problemas específicos; es posible utilizar estas herramientas para el desarrollo de aplicaciones enfocadas a temas como el de la eficiencia de la red vial urbana. Para ello es importante tomar como base la bibliografía que habla sobre el tema, como es el caso del HCM, y traducirlo a un lenguaje de programación que, adaptado a las condiciones propias de nuestro territorio, serviría para lograr una planificación integral para el

mantenimiento y la conservación de la red vial urbana de nuestras ciudades.

#### 1.4 Justificación

La importancia de integrarse a la agenda 2030, planteada por las naciones unidas, permite que nuestro país, sus estados y ciudades se mantengan al margen de la preocupación mundial y de la empatía para atender las problemáticas mundiales actuales. En lo que respecta al tema de transporte eficiente, se tienen que redoblar esfuerzos con los gobiernos estatales y municipales, como en el caso de la ciudad de Puebla, que desafortunadamente no cuenta con un plan sostenible de mantenimiento de la red urbana, teniendo como consecuencia problemas de tránsito que pueden percibirse cada día.

Para lograr un plan de mantenimiento de la red urbana es importante no solo mantener la infraestructura vial, sino también la elaboración de análisis integrales donde se incluyan las condiciones de tránsito, las cuales son las que definen en esencia el diseño de las estructuras de los pavimentos. Esto dará pauta a la aplicación acertada de los recursos del erario y con ello el costo beneficio para los ciudadanos se verá reflejado en vialidades eficientes, confortables y seguras.

La forma más adecuada de lograr la planificación y la gestión del tránsito, así como de la dictaminación de la infraestructura de la red urbana es mediante la aplicación de los métodos y procedimientos encontrados en la literatura técnica especializada, adaptando las necesidades específicas y particulares de cada región o zona de análisis. Por lo que la adaptación de métodos como el que ofrece el HCM a las condiciones propias de nuestro territorio nacional coadyuvaría incluso con la legislación y reglamentación para la integración de mecanismos y políticas públicas direccionadas al

continuo mejoramiento de la red urbana, subsanando una parte importante de los objetivos de la agenda 2030.

Por lo tanto, la importancia de contar con las tecnologías adecuadas es esencial para dar soluciones precisas al control y gestión del tránsito en nuestras ciudades como es el caso de la capital Poblana, y disminuir los tiempos de traslado de los usuarios de la red vial mediante estrategias derivadas de análisis integrales, y con ello lograr que nuestra ciudad cuente con la infraestructura adecuada para garantizar un transporte eficiente que impulse el desarrollo económico de la sociedad. Además, el contar con una ciudad eficiente en materia de infraestructura vial, motiva a la inversión extranjera siendo este un paso hacia el futuro de las nuevas generaciones.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivos generales

Mediante la elaboración de una aplicación en el lenguaje de programación de Visual Basic, determinar el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas y de arterias viales considerando los efectos de IRI y ancho de carril, para evaluar sus condiciones actuales de operación y proponer alternativas de solución que disminuyan los tiempos de traslado y con ello mejorar las condiciones de operación de los usuarios con la finalidad de efficientar la red vial urbana existente.

## 1.5.2 Objetivos particulares

- Determinar el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas considerando los efectos de IRI y ancho de carril.
- Determinar el nivel de servicio de arterias viales considerando los efectos por IRI.
- Dictaminar las soluciones técnicas requeridas de una determinada intersección vial semaforizada considerando los efectos de IRI y ancho de carril.
- Dictaminar las soluciones técnicas requeridas de una determinada arteria vial semaforizada considerando los efectos de IRI.
- Proponer alternativas de solución que permitan eficientar la capacidad de las vías de comunicación existentes de la red vial urbana mediante el análisis del tránsito vehicular y de las condiciones físicas del pavimento.

## 1.6 Metodología

Para la elaboración de un software en Visual Basic que determina los niveles de servicio LOS de las intersecciones y arterias viales, se debe seguir un enfoque estructurado que incluya todas las fases del desarrollo de software, así como los aspectos técnicos necesarios para modelar el flujo vehicular y calcular el nivel de servicio de acuerdo con el HCM. Por lo tanto, será necesario hacer un análisis detallado de requerimientos para comprender y definir los requisitos funcionales del software, así como los criterios que influirán en el cálculo del nivel de servicio. Será necesario revisar y estudiar las fórmulas, criterios y métodos propuestos en el HCM para el cálculo de LOS en intersecciones y arterias viales.

Por otra parte, será conveniente determinar qué datos serán necesarios para el cálculo del nivel de servicio, como: el flujo vehicular, capacidad de

la intersección o de la arteria conociendo el número de carriles, ancho de carril, velocidades promedio, fases semaforicas, condiciones del pavimento, factores de ajuste, pendientes, presencia de vehículos pesados, etc. También será importante definir quiénes serán los usuarios finales del software (ingenieros de tráfico, planificadores urbanos, entidades públicas, etc.) y cuáles son sus expectativas.

El software deberá generar informes que sean fáciles de interpretar, además de ser eficiente en el procesamiento de datos y cálculos, mediante la elaboración de diagrama de flujo de datos que ilustren la forma en cómo se procesará la información, desde la entrada de datos (tráfico, características de la vía) hasta la salida (nivel de servicio y reportes).

Para armar la estructura del software, éste se dividirá en diferentes módulos:

Módulo de entrada de datos: Permitir a los usuarios ingresar información relevante sobre las arterias (flujo de tráfico, carriles, ancho de vía, condiciones, etc.).

Módulo de cálculo del nivel de servicio: Este será el núcleo del software, donde se aplicarán las fórmulas del HCM para determinar el LOS.

Módulo de visualización y reportes: Generar una salida visual que muestre el resultado del nivel de servicio.

Una vez concluido el software será sometido a pruebas de funcionamiento del código, detectando y corrigiendo errores (depuración) que puedan surgir durante el proceso de cálculo o interacción con el usuario. Por lo tanto, la elaboración de un manual de usuario tendrá como finalidad incluir instrucciones detalladas sobre cómo ingresar los datos, cómo interpretar los resultados y cómo generar los informes.

## 1.7 Marco de referencia

El incremento de los tiempos de traslado en la red vial urbana de la ciudad de Puebla, reduce la eficiencia de conectividad entre los centros de origen y destino de los usuarios.

Recientemente en la ciudad de Puebla, el estado de la red urbana es un tema que se encuentra dentro de los principales temas a resolver en la actual administración municipal. Los ciudadanos consideran que la falta de mantenimiento en calles y la descoordinación en la sincronización de los semáforos, complican la vida diaria de conductores, ciclistas y peatones, planteando un reto urgente para la nueva administración. Además, los baches se han convertido en una de las principales preocupaciones sociales que deberá enfrentar la nueva administración municipal de Puebla. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), un alarmante 88 por ciento de los ciudadanos considera que este es su principal problema, seguido por la delincuencia (83.3%), el mal estado del alumbrado público (71.5%), el transporte público de deficiente (68.7%), los embotellamientos (56.3%) y el descuido de los parques (51.2%) (El Sol de Puebla, 2024).

Por otra parte, las quejas de la ciudadanía por el mal estado de las calles en la capital y municipios conurbados son constantes, ya que el costo del deterioro y averías de los vehículos son asumidas por los particulares, además de los accidentes propiciados por esa causa, sin que exista ninguna responsabilidad de los gobiernos municipales omisos (La Jornada de Oriente, 2024).

Derivado de la problemática social que esto ha originado, instituciones de especialistas en la materia como el Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Puebla (CICEPAC), han realizado conferencias de prensa con la finalidad de proponer una solución a este tema. Según la comisión de vías terrestres de este colegio, afirma que, teniendo un programa de mantenimiento de la red urbana de la ciudad de Puebla, ayudaría a conservar en buenas condiciones el estado físico de las calles y avenidas, contribuyendo a que los usuarios gocen de mayor comodidad y reduzcan los costos de mantenimiento de los vehículos (CICEPAC, 2024).

Por otra parte, según estudios del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), los usuarios que transita por las carreteras federales se ven afectados en sus costos de operación por las condiciones del pavimento. Por lo que se han definido parámetros y métodos de como calcular dichos costos, en los cuales se ha comprobado que a mejor calidad en las condiciones físicas de las carreteras el costo de operación de los vehículos disminuye significativamente (IMT, 2023). Por lo tanto, las carreteras son un pilar clave para el progreso económico y social de las regiones en las que se encuentran, ya que tienen un impacto positivo en la producción bruta regional de las actividades manufactureras y el comercio minorista. (Zepeda Ortega, Ángeles Castro, & Carrillo Murillo, 2019).

Es importante señalar que el costo del tiempo es una variable que los especialistas en transporte deben considerar para caracterizar las condiciones en las que opera la red vial de transporte y, por tanto, eficientar el traslado del punto de origen al punto de destino (Ortuzar, 2011). Por lo tanto, el tiempo que es un recurso no renovable impacta de manera significativa en el costo del transporte. Por lo que es necesario eficientar los tiempos de traslado de las personas y mercancías.

El problema de la eficiencia del transporte también se puede analizar desde la perspectiva ambiental. Según datos del World Resources Institute, México se encuentra entre los primeros 10 lugares mundiales en cuanto a emisiones de GEI en el sector transporte. En el país, el transporte es responsable de la emisión de 148 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y representa la segunda fuente de emisiones GEI después de la generación de electricidad. El autotransporte, constituido principalmente por autos privados, contribuyen con el 80% de las emisiones y es la principal causa del incremento en la demanda de energía. La flota, además, va en aumento: entre 1990 y 2017, el parque vehicular aumentó a una tasa 3.5 veces mayor que la población (World Resources Institute, 2022).

Por otra parte, la ONU Habitat afirma que los automóviles particulares generan el 18% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, principal gas causante del efecto invernadero. Este fenómeno podría costar al país hasta el 6% del PIB, si no se toman las medidas de prevención adecuadas. En las cinco ZM del país que concentran el 40% de la población urbana nacional, las pérdidas por externalidades negativas alcanzan costos que rondan el 4% del PIB (ONU HABITAD, 2017).

En el marco de la agenda 2030 de la ONU, se plantean 17 objetivos los cuales tienen como objetivo principal el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. Lo señalado en el objetivo 11 (ciudades y comunidades sostenibles) pone al transporte como uno de sus principales metas ya que para alcanzar el Objetivo 11, los esfuerzos deben centrarse en aplicar políticas y prácticas de desarrollo urbano inclusivo, resiliente y sostenible que den prioridad al acceso a los servicios básicos, a la vivienda a precios asequibles, al transporte eficiente y a los espacios verdes para todo el mundo (ONU, 2015). También en lo que se menciona en el objetivo 13 (Acción por el

clima) el transporte juega un papel importante para la reducción de contaminación.

Actualmente la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, publica anualmente su artículo denominado “Capacidad y Niveles de Servicio en la Red Federal de Carreteras” donde se exponen los niveles de servicio de las carreteras de cada estado de la república. Sin embargo, no se cuenta con información de esta índole relacionada con la red urbana de las ciudades. Por otra parte, el IMT se ha enfocado a determinar la metodología para determinar los niveles de servicio y velocidades de operación en segmentos de carreteras de dos carriles y multicarril, aplicado y más enfocado a la red de carreteras federales.

En términos del marco legal la Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Puebla publicada el 5 de diciembre de 2023 señala que todas las autoridades competentes en materia de movilidad, dentro de sus funciones, deben garantizar que las vías públicas proporcionen un nivel de servicio adecuado para todas las personas, atendiendo la jerarquía de la movilidad prevista. También señala que las autoridades deben satisfacer los requerimientos de movilidad procurando los menores impactos negativos en la calidad de vida de las personas, en la sociedad y en el medio ambiente (Gobierno del estado de Puebla, 2023).

Las acciones que el gobierno municipal de Puebla ha realizado para la gestión del tránsito vehicular ha sido a través de la sincronización semafórica, donde la capital poblana cuenta con 275 cruces enlazados al Centro de Control, lo que hace que el sistema de semáforos esté sincronizado, por ello, con una exhibición, el presidente municipal entregó los trabajos de modernización, saneamiento y mantenimiento de la red semafórica y balizamiento en las vialidades primarias que equivalen a 130 kilómetros. En este contexto, también se entregan las 10 estaciones de

monitoreo ambiental donde se podrá obtener información sobre las condiciones climáticas de contaminación de los principales corredores viales. (MILENIO, 2023). Actualmente, el Ayuntamiento de Puebla, se prepara para iniciar un programa integral de bacheo y pavimentación en diversas vialidades de la capital, afectadas tras un prolongado periodo sin intervención (Periodico Enfoque, 2024).

La problemática del transporte nos lleva a diferentes contextos, y la aportación para solucionar cualquiera de sus ámbitos contribuye en gran medida para resolverlos, es una tarea conjunta entre el gobierno, especialistas, empresas y usuarios. Los especialistas deben aportar los elementos necesarios y sustentados que faciliten a los funcionarios gubernamentales las decisiones en esta materia, poniendo como principal objetivo el bienestar social.

Para la ciudad de Puebla representa un gran reto la gestión del tránsito de vehículos en la red vial urbana, con las nuevas tendencias en el consumo de vehículos chinos por los bajos costos en que se ofertan en el mercado, se convierten en un incentivo para los consumidores (El Sol de Puebla, 2024). Por lo tanto, la red urbana deberá tener la capacidad y las condiciones adecuadas que cumplan con la legislación poblana en esta materia, para ofrecer a los usuarios vialidades con los niveles de servicio requeridos y coadyuven al desarrollo económico del municipio.

## **CAPÍTULO 2 La regularidad superficial en el nivel de servicio de intersecciones y vialidades urbanas.**

### **2.1 Antecedentes.**

El Índice de Rugosidad Internacional IRI, por sus siglas en inglés, es una medida estándar que se usa para evaluar la regularidad de la superficie de rodamiento de una carretera o camino. Fue aceptado como estándar de medida de regularidad superficial de las carreteras por el Banco Mundial en 1986. Permite evaluar con cualquier equipo de medición de la rugosidad de un pavimento e indicarla en valores de IRI cuya unidad para México está representada en m/Km, permitiendo referirse a una sola escala de medición que puede identificar en que condiciones superficiales se encuentra la red nacional y detectar anomalías en algunos de sus tramos (IMT, 1998).

El IRI es considerado como una característica importante de los pavimentos porque está directamente relacionada con factores como: a) Desempeño del pavimento a lo largo de su vida útil. b) Comodidad del usuario. c) Seguridad. d) Costos de operación vehicular.

### **2.2 Índice de Rugosidad Internacional, IRI.**

Para la normatividad mexicana el IRI es el índice estandarizado reconocido internacionalmente para medir la regularidad superficial en el eje de medición y cuya magnitud determina el estado físico del pavimento. Es una medida de referencia que representa la regularidad de la superficie de rodadura del pavimento, que corresponde a la relación entre el desplazamiento vertical acumulado de la suspensión de un vehículo específico y la distancia recorrida

por el mismo a una velocidad de 80 kilómetros por hora y se expresa en metros por kilómetro o milímetros por metro. (SCT, 2021)

Por otra parte, es importante mencionar que la regularidad superficial es la propiedad del estado funcional de un pavimento, relativa a las desviaciones verticales existentes en relación con la superficie de rodadura. La regularidad superficial también está asociada con las deficiencias estructurales y el deterioro acelerado del pavimento (SCT, 2021).

Los parámetros del estado físico de un pavimento están acotados con los valores expresados en la Tabla 2.0. Donde el estado físico de un pavimento en buen estado para la red básica libre y red secundaria se encuentra en un valor de IRI menor a 2.5. Mientras que para un estado físico del pavimento aceptable los valores de IRI deben encontrarse entre 2.5 y 3.5. Por último, un estado físico de pavimento no aceptable se encuentra en valores de IRI mayores a 3.5.

Unidades en m/km

Estado físico del pavimento	Índice de Regularidad Internacional	
	Autopistas de cuota y corredores carreteros	Red básica libre y red secundaria
Bueno	< 1,8	< 2,5
Aceptable	1,8 a 2,5	2,5 a 3,5
No satisfactorio	> 2,5	> 3,5

**Tabla 2.0.** Estado físico del pavimento en función del índice de regularidad internacional según el tipo de carretera. Fuente (SCT, 2021).

Existen diversos equipos para determinar el IRI, estos se clasifican en función de su precisión y de las mediciones efectuadas. La norma N-CSV-CAR-1-03-004/21 clasifica estos equipos en:

Equipos de bajo rendimiento. - son dispositivos que se caracterizan por llevar a cabo las mediciones a velocidades sensiblemente inferiores a la velocidad de operación de una carretera. Dependiendo del uso dado a las mediciones, los equipos de bajo rendimiento pueden clasificarse en: dispositivos de referencia y equipos para el control de calidad.

Dentro de los equipos de bajo rendimiento considerados de referencia, se pueden mencionar: Nivel y estadal, Dipstick, Z-250 Walking profilometer. Mientras que para los equipos para el control de calidad se pueden considerar: el perfilómetro de California, perfilómetro inercial pequeño (Coria Gutierrez, 2024)



a)

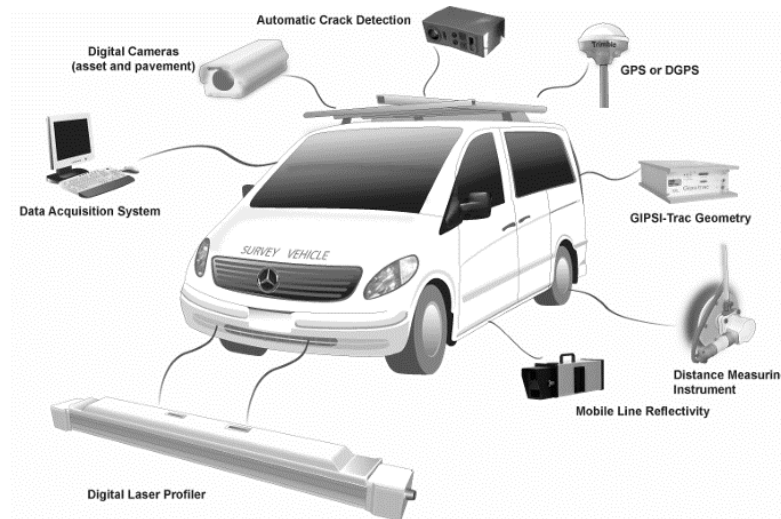


b)

**Figura 2.0.** Imágenes de uso de equipos a) Nivel topográfico, b) Estadal y cinta métrica. Fuente (Cepeda Hernández, 2019)

Equipos de alto rendimiento. - los equipos de alto rendimiento han sido diseñados para realizar mediciones a velocidades comparables con la velocidad de operación de las carreteras. Su principal objetivo consiste en determinar la regularidad de los pavimentos a nivel de red, con la ventaja adicional de que minimizan las afectaciones al tránsito.

Los equipos de alto rendimiento más ocupados en México son los perfilómetros inerciales (Coria Gutierrez, 2024).



**Figura 2.1.** Perfilómetro inercial de alto desempeño. Fuente (Coria Gutierrez, 2024)

Para la evaluación de un pavimento en una vialidad urbana, según lo mencionado anteriormente por la norma N-CSV-CAR-1-03-004/21, se pueden ocupar un equipo de bajo rendimiento, tratándose de puntos específicos en las intersecciones viales o segmentos de arterias viales.

## 2.3 Nivel de servicio en Intersecciones viales semaforizadas.

### 2.3.1 Definiciones

En la literatura especializada, principalmente en los textos más sobresalientes en la materia, existen diferentes definiciones para el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas. Por ejemplo, para Cal y Mayor (2018), el nivel de servicio de una intersección semaforizada es una medida de la eficiencia con la que un sistema vial presta servicio a esta demanda. La capacidad de

una infraestructura vial representa la tasa máxima de flujo a la cual se espera que los vehículos o personas razonablemente puedan pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada, durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del medio ambiente del tránsito y de los dispositivos de control. El nivel de servicio de una intersección con semáforos se define a través de las demoras, las cuales representan para el usuario una medida del tiempo perdido de viaje, del consumo de combustible, de la incomodidad y de la frustración (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Por otra parte, para (Garber & Hoel, 2005), el nivel de desempeño de operación está indicado por el concepto de nivel de servicio, en el cual se utilizan medidas cualitativas que caracterizan tanto las condiciones operativas dentro de un flujo vehicular, como su percepción por parte de los conductores y pasajeros (Garber & Hoel, 2005).

Por otra parte, para el manual de capacidad de carreteras HCM (2010) el nivel de servicio LOS, por sus siglas en inglés (Level of Service), en intersecciones semaforizadas es un indicador utilizado en la ingeniería de tránsito para evaluar la calidad del flujo vehicular y la eficiencia de una intersección controlada por semáforos (Transportation Research Board, 2010).

Por lo tanto, podemos resumir que el nivel de servicio de una intersección semaforizada es una medida de la eficiencia en la que se espera que los vehículos o personas puedan pasar, durante un intervalo de tiempo dado por semáforos, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial.

Cabe la pena mencionar que las condiciones prevalecientes a las que se refiere el párrafo anterior también deben estar incluidas las condiciones físicas de la infraestructura vial, es decir, las condiciones del pavimento. No obstante, el HCM no contempla en su procedimiento metodológico las condiciones del

pavimento, el cual juega un papel sumamente importante dentro de la comodidad y frustración del usuario al circular por pavimentos con problemas estructurales. Es importante recordar que el conductor, el peatón, el vehículo y el camino forman parte del sistema de tránsito o sistema de transporte vial y estos elementos se consideran componentes fundamentales en el análisis de la ingeniería de tránsito y en la gestión del tráfico, ya que cada uno desempeña un papel crucial en el flujo vehicular.

### 2.3.2 Usos específicos del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas.

El nivel de servicio (LOS) de intersecciones viales semaforizadas se utiliza para evaluar y categorizar la calidad del flujo de tráfico en intersecciones controladas por semáforos. Su propósito principal es medir la experiencia de los usuarios en términos de tiempo de espera y comodidad durante el cruce de una intersección, y se utiliza en la planificación, diseño y optimización del sistema vial.

Los usos específicos del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas pueden ser para:

- Evaluación de demoras y fluidez del tráfico: El LOS permite identificar la demora promedio que experimentan los vehículos al cruzar la intersección, lo que refleja la fluidez del tráfico en ese punto.
- Planeación y diseño de intersecciones: Los ingenieros de tránsito utilizan el LOS para determinar si una intersección necesita ajustes en la configuración de los semáforos, ampliaciones, o modificaciones en las fases del semáforo para mejorar el flujo de tráfico.

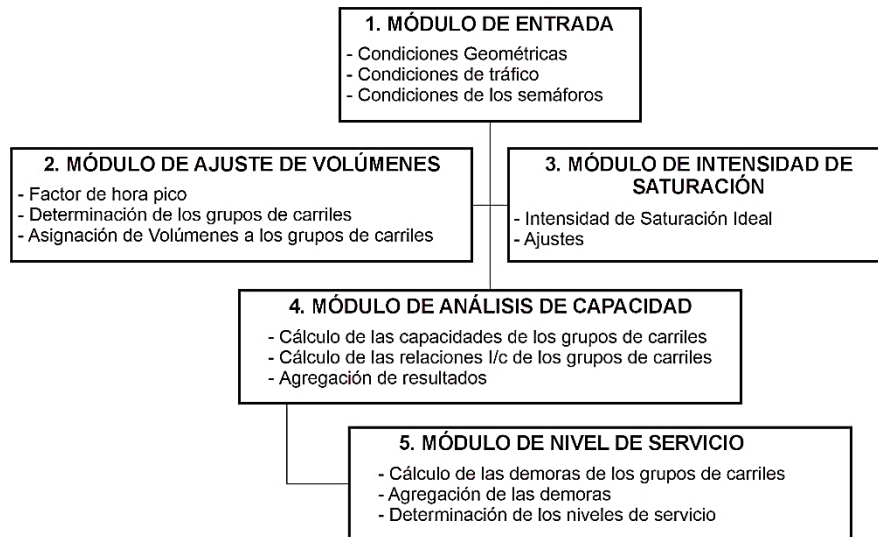
- Toma de decisiones en infraestructura vial: Al conocer el nivel de servicio de una intersección, las autoridades pueden priorizar proyectos de mejora en infraestructura vial, como la instalación de carriles adicionales o la actualización de semáforos para mejorar el tránsito y reducir las demoras.
- Seguridad vial: Un buen nivel de servicio contribuye a reducir la congestión y minimizar los puntos de conflicto en la intersección, lo cual es fundamental para mejorar la seguridad de conductores, peatones y ciclistas.
- Evaluación de impacto ambiental: Al mejorar el nivel de servicio y reducir la congestión, se puede disminuir la cantidad de emisiones contaminantes generadas por los vehículos que esperan en la intersección.

En resumen, el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas es una herramienta clave para mejorar la eficiencia, seguridad y *sostenibilidad* del sistema de transporte urbano, asegurando que las intersecciones funcionen de manera óptima para todos los usuarios.

### 2.3.3 Método para calcular el nivel de servicio LOS en intersecciones semaforizadas.

La metodología empleada para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas es la que propone el HCM, la capacidad de una carretera se relaciona principalmente con las características geométricas de la misma, así como con la composición del tráfico rodado que la utiliza (Asociación Técnica de Carreteras, 1985). La metodología se divide en cinco módulos los cuales son:

- 1) Módulo de entrada. – en este módulo se incluyen todos los datos necesarios de la geometría de la intersección, los volúmenes y condiciones del tráfico y la semaforización.
- 2) Módulo de ajustes de volúmenes. – en este módulo de ajuste
- 3) Módulos de intensidades de saturación. – en este módulo se calcula la intensidad de saturación de cada uno de los grupos de carriles a analizar, basándose en el ajuste de la intensidad de saturación ideal de forma que queden reflejadas las condiciones prevalecientes.
- 4) Módulo de análisis de capacidad. – en este módulo se opera sobre los volúmenes y las intensidades de saturación para calcular la capacidad y las relaciones  $I/c$  de cada grupo de carriles y la relación  $I/c$  de la intersección.
- 5) Módulo del nivel de servicio. – se estima aquí la demora de cada grupo de carriles definido para el análisis. Las demoras se agregan por accesos y para



**Figura 2.2.** Procedimiento para el análisis de la circulación. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

### 2.3.3.1 Módulo de entrada

*Condiciones geométricas:* suelen presentarse en forma diagramática, se incluye toda la información relevante como: inclinación de los accesos, el

número y anchura de los carriles y las condiciones de estacionamiento. Se indica la existencia de carriles para giro a la izquierda o a la derecha, así como las longitudes de almacenamiento de estos carriles.

*Condiciones del tráfico:* se deben especificar los volúmenes de circulación para cada movimiento de cada acceso. La distribución por tipos de vehículo debe cuantificarse como porcentaje de vehículos pesados (% VP) de cada movimiento, considerando “vehículo pesado” a todo vehículo con más de cuatro ruedas en contacto con el pavimento. También debe identificarse el número de autobuses locales en cada acceso, principalmente los que tienen parada para recoger o descargar pasajeros en la intersección. Los autobuses que no tengan parada se consideran como vehículos pesados.

Se necesitan asimismo los flujos peatonales, puesto que estos interferirán con los movimientos permitidos de giro a la izquierda y giro a la derecha.

Por otra parte, una de las características del tráfico más críticas es la designación del “tipo de llegada” de cada acceso. Se definen cinco tipos de llegada para el flujo de llegada dominante.

Tipo 1 – esta condición queda definida como la llegada a la intersección de una columna densa al comienzo de la fase roja. Ésta es la peor condición de columna posible.

Tipo 2 – esta condición puede ser una columna densa que llegue durante la mitad de la fase roja, o bien una columna dispersa que llegue a lo largo de toda la fase roja. Es mejor que el tipo I aunque todavía es una condición de columna desfavorable.

Tipo 3 – esta condición representa la llegada totalmente aleatoria. Se produce cuando las llegadas se dispersan durante las fases verde y rojas completas, y/o cuando el acceso está totalmente descoordinado con otros semáforos, bien

porque se trate de una intersección aislada, o bien porque los semáforos cercanos operen con distintas longitudes de ciclo. Esta es una condición media.

Tipo 4 – esta condición queda definida como la llegada, de una columna densa en el centro de la fase verde, o bien una columna dispersa que llegue a lo largo de toda la fase verde. Esta es una condición de columna moderadamente favorable.

Tipo 5 – esta condición se define como la llegada de una columna densa al comienzo de la fase verde. Es la condición de columna más favorable.

Condiciones de la semaforización: se requiere información completa sobre las condiciones de semaforización. Esto incluye y se recomienda contar con un diagrama de fases que ilustre el plan de fases, la duración del ciclo, los tiempos de verde, y los intervalos de cambio. Deben quedar identificadas las fases actuadas, incluyendo las fases activadas por los peatones mediante pulsadores. Donde no existan pulsadores para los peatones, se deben indicar el mínimo tiempo de verde de la fase, y debe tomarse en cuenta en la programación del semáforo.

Cuando las fases semaforizadas sean actuadas, la duración del ciclo y los tiempos de verde variarán de ciclo en ciclo en respuesta a la demanda. Con objeto de establecer valores para el análisis, se debe observar el funcionamiento del semáforo en el campo durante el mismo periodo de tiempo en el que se registran los volúmenes. Se utilizarán entonces los valores medios de la duración del ciclo y de los tiempos de verde.

### 2.3.3.2 Módulo de ajuste de volúmenes

En el módulo de ajuste de volúmenes se realizan tres pasos analíticos importantes: 1) se transforman los volúmenes de los movimientos en

intensidades para los 15 min punta de análisis, 2) se establecen los grupos de carriles a analizar y 3) se ajustan los flujos de los grupos de carriles para tener en cuenta el desequilibrio en la utilización de los carriles.

Ajuste de los volúmenes para reflejar las intensidades punta – el proceso de cálculo inicial es la conversión de las demandas, dadas como volúmenes horarios, en intensidades del periodo de 15 min punto dentro de la hora. Se hace estos dividiendo los volúmenes de los movimientos por el factor de hora punta apropiado FHP, que puede definirse bien para la intersección en conjunto, para cada acceso o para cada movimiento.

$$I_p = Q/FHP$$

$I_p$  = intensidad durante el periodo punta de 15 min, en  $v/h$ ;

$Q$  = volumen horario, en  $v/h$ ; y





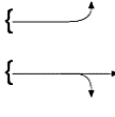
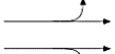
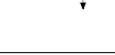




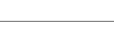
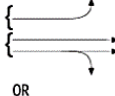
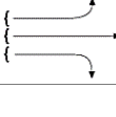
$FHP$  = factor de hora punta

Derivado a que todos los movimientos de una intersección pueden no tener la punta en el mismo momento, es muy interesante observar los flujos de 15 min directamente, y seleccionar los periodos críticos de análisis. La conversión de los volúmenes horarios en intensidades punta por medio del FHP asume que todos los movimientos tienen la punta durante el mismo periodo de 15 min y por lo tanto es un planteamiento conservador.

Determinación de los grupos de carriles a analizar – se define como “grupo de carriles” a uno o más carriles de un acceso a una intersección que den servicio a a uno o más movimientos de tráfico. En general, se utiliza el menor número de grupos de carriles que describen adecuadamente el funcionamiento de la intersección. Se pueden aplicar los siguientes criterios:

- Todo carril o carriles para giro a la izquierda exclusivo deben designarse como un grupo de carriles separado. Esto es también aplicable a los carriles de giro a la derecha exclusivo.
- En aquellos accesos que tengan carriles exclusivos para giro a la izquierda y a la derecha, se incluirán generalmente todos los demás carriles en un mismo grupo de carriles.
- Cuando en un acceso con más de un carril existe uno que puede utilizarse tanto por vehículos que giran a la izquierda como por vehículos que giran a la izquierda como por vehículos de paso, es necesario determinar si las condiciones existentes permiten el que exista un equilibrio, o si existen tal cantidad de giros a la izquierda que el carril funciona esencialmente como un carril exclusivo de giro a la izquierda.

La Figura 2.3. ilustra algunos agrupamientos habituales de carriles para el análisis.

Number of Lanes	Movements by Lanes	Number of Possible Lane Groups
1	LT + TH + RT 	①  (Single-lane approach)
2	EXC LT  TH + RT 	② 
2	LT + TH  TH + RT 	①  OR ② 
3	EXC LT  TH  TH + RT 	②  OR ③ 

**Figura 2.3.** Grupos de carriles típicos. (Transportation Research Board, 2000)

Ajuste por la distribución entre carriles – el ajuste por la utilización de carriles tiene en cuenta el ajuste de las intensidades de cada grupo de carril para reflejar el uso desigual que se hace de los carriles, cuando existe más de un carril, el flujo no se dividirá por igual, incrementando la intensidad de análisis para reflejar el flujo del carril que tiene mayor utilización. El factor de utilización de carril solo se utiliza cuando se desea analizar el peor, o los dos peores carriles de un grupo de carriles.

### 2.3.3.3 Módulo de intensidades de Saturación

La intensidad de saturación es el flujo, en vehículos a la hora, al que puede dar servicio el grupo de carriles, asumiendo que la fase de verde esté siempre disponible para ese acceso, es decir, que la relación de verde,  $g/C$ , es 1.0. El cálculo comienza con la selección de una intensidad de saturación “ideal” que usualmente se toma como 1,800 vehículos ligeros por hora de verde y carril, y el ajuste de este valor para una variedad de condiciones prevalecientes no ideal.

$$s = s_{\sigma} N f_A f_{VP} f_i f_e f_{bb} f_a f_{MD} f_{MI}$$

$s$  = intensidad de saturación para el grupo de carriles estudiado, expresada como total de todos los carriles del grupo de carriles en las condiciones prevalecientes, en  $v/hra$ .

$S_{\sigma}$  = intensidad de saturación ideal por carril, normalmente 1,800  $v/hra/carr$ .

$N$  = número de carriles del grupo de carriles.

$f_A$  = factor de ajuste por anchura de carril; el estándar es el carril de 3.6 m.

$f_{VP}$  = factor de ajuste por vehículos pesados dentro de la circulación.

$f_i$  = factor de ajuste por la inclinación del acceso.

$f_e$  = factor de ajuste por la existencia de un carril de estacionamiento adyacente al grupo de carriles, y por la actividad de estacionamiento en ese carril.

$f_{bb}$  = factor de ajuste por el efecto de bloqueo de los autobuses locales que paran dentro del área de la intersección.

$f_a$  = factor de ajuste por el tipo de área.

$f_{MD}$  = factor de ajuste por giro a la derecha en el grupo de carriles.

$f_{MI}$  = factor de ajuste por giros a la izquierda en el grupo de carriles.

El *factor de anchura de carril*,  $f_A$ , tiene en cuenta el impacto nocivo ejercido por los carriles estrechos sobre la intensidad de saturación, y contempla el incremento en el flujo que producen los carriles anchos.

ANCHURA DE CARRIL	2.40	2.70	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50	4.80
FACTOR DE AJUSTE, $f_A$	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.03	1.07	1.10	Pase a 2 Carriles

**Tabla 2.1.** Factor de ajuste por ancho de carril. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El factor de ajuste por vehículos pesados tiene en cuenta el espacio adicional que ocupan estos vehículos y sus diferentes capacidades operativas en relación con los vehículos ligeros.

PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS, % VP	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30
FACTOR DE AJUSTE, $f_{vp}$	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87

**Tabla 2.2.** Factor de ajuste por vehículos pesados. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El *factor de inclinación* tiene en cuenta el efecto de la inclinación de la rasante sobre el funcionamiento de los vehículos.

	BAJADA			A NIVEL	SUBIDA		
INCLINACIÓN, %	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
FACTOR DE AJUSTE, $f_i$	1.03	1.02	1.01	1	0.99	0.98	0.97

**Tabla 2.3.** Factor de ajuste por inclinación de la rasante. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El *factor de estacionamiento* tiene en cuenta el efecto de fricción que ejerce el carril de estacionamiento sobre el flujo de los carriles adyacentes, así como el bloqueo ocasional de estos carriles por los vehículos que entran y salen de las celdas de estacionamiento.

No DE CARRILES EN EL GRUPO	SIN ESTACIONAMIENTO	N° DE MANIOBRAS DE ESTACIONAMIENTO POR HORA, $N_m$				
		0	10	20	30	40
1	1	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
2	1	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
3	1	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89

**Tabla 2.4.** Factor de estacionamiento. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El factor de bloqueo de autobuses tiene en cuenta el impacto de los autobuses de circulación local que pasan para recoger o descargar pasajeros en una parada situada en la zona anterior o posterior de la intersección.

No DE CARRILES EN EL GRUPO	NÚMERO DE AUTOBUSES QUE PARAN POR HORA, $N_b$				
	0	10	20	30	40
1	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83
2	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94

**Tabla 2.5.** Factor de bloqueo de autobuses. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El *factor de tipo de área*, tienen en cuenta la relativa ineficiencia de las intersecciones en zonas comerciales en comparación a aquellas situadas en otros lugares. Esto se debe fundamentalmente a la complejidad y congestión general existente en el entorno de las zonas comerciales.

TIPO DE ZONA	FACTOR $f_a$
CENTRO URBANO	0.90
OTRAS ZONAS	1.00

**Tabla 2.6.** Factor de ajuste por tipo de área. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El *factor de giro a la derecha* depende de las siguientes variables:

- Los giros a la derecha se realizan desde un carril exclusivo o compartido.
- Tipo de fases semafóricas (protegidas, permitidas o protegidas y permitidas); una fase para giro a la derecha protegida no tiene ningún conflicto con los movimientos peatonales.
- El volumen de peatones que utiliza el paso peatonal.
- La proporción de giros a la derecha que utilizan un carril compartido.
- La proporción de giros a la derecha que utilizan la porción protegida de una fase protegida y permitida.

El factor de giro a la izquierda está basado en unas variables similares al factor anterior, que son:

- Si los giros a la izquierda se hacen desde carriles exclusivos o compartidos.
- El tipo de fases (protegidas, permitidas, o protegidas y permitidas).
- Proporción de vehículos que giran a la izquierda que utilizan un carril compartido.
- El flujo en el sentido opuesto cuando se realizan los giros a la izquierda permitidos.

*Ajustes.* - En la determinación de los factores por giros a la izquierda es necesario realizar un ajuste cuando un grupo de carriles tiene giros a la izquierda permitidos (procedimiento especial), el factor de ajuste por giro a la izquierda debe calcularse por medio de ecuaciones complejas. Las ecuaciones tratan de aproximar el efecto de los flujos en estado de equilibrio al que llegan después de interaccionar los vehículos que giran a la izquierda, los vehículos que van de frente y los que vienen en sentido opuesto. El procedimiento contempla todos los giros a la izquierda permitidos, tanto si provienen de un carril exclusivo o compartido. La metodología de estos ajustes especiales está plasmada en el manual de capacidad de carreteras.

A continuación, se presentan los valores de factores por vuelta a la derecha y vuelta a la izquierda.

CASO	TIPO DE GRUPO DE CARRILES	FACTOR DE GIRO A LA DERECHA, $f_{MD}$							
1	CARRIL MD EXCLUSIVO: FASE PARA MD PROTEGIDO.	0.85							
2	CARRIL MD EXCLUSIVO: FASE PARA MD PERMITIDA.	$f_{MD} = 0.85 - (pt/2100)$ ; $pt \leq 1700$ $f_{MD} = 0.05$ ; $pt > 1700$							
		N° de peatones conflict. (pt.)	0 (Bajo)	50	100	200 (Med)	300	400 (Alto)	500
		Factor	0.85	0.83	0.80	0.75	0.71	0.66	0.61
		N° de peatones conflict. (pt.)	600	800	1000	1200	1400	1600	$\geq 1700$
		Factor	0.56	0.47	0.37	0.28	0.18	0.05	0.05
3	CARRIL MD EXCLUSIVO; FASES PARA MOVIMIENTO PROTEGIDO Y PERMITIDO	$f_{MD} = 0.85 - (1 - P_{MDA})(pt/2100)$ $f_{MD} = 0.05$ (mínimo)							
		N° de peatones conflict. (pt.)	Prop. de MD que utilizará la fase protegida, $P_{MDA}$						
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
		0	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
		50 (Bajo)	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.85	
		100	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	
		200 (Med.)	0.75	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	
		300	0.71	0.74	0.76	0.79	0.82	0.85	
		400 (Alto)	0.66	0.70	0.74	0.77	0.81	0.85	
		600	0.56	0.62	0.68	0.74	0.79	0.85	
		800	0.47	0.55	0.62	0.70	0.77	0.85	
1000	0.37	0.47	0.56	0.66	0.75	0.85			
1400	0.18	0.32	0.45	0.58	0.72	0.85			
$\geq 1700$	0.05	0.20	0.36	0.53	0.69	0.85			
4	DOS CARRILES USO EXCLUSIVO MD; FASE PROTEGIDA	$f_{MD} = 1.0 - 0.15P_{MD}$							
		Prop. de MD en el carril $P_{MD}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
		Factor	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	
5	CARRIL PARA MD COMPARTIDO: FASE PERMITIDA	$f_{MD} = 1.0 - P_{MD}[0.15 + (pt/2100)]$ $f_{MD} = 0.05$ (mínimo)							
		N° de peatones conflict. (pt.)	Prop. de MD en el grupo de carriles $P_{MD}$						
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
		0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	
		50 (Bajo)	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83	
		100	1.00	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	
		200 (Med.)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	
		400 (Alto)	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66	
		600	1.00	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56	
		800	1.00	0.89	0.79	0.68	0.58	0.47	
		1000	1.00	0.89	0.75	0.62	0.50	0.37	
1400	1.00	0.84	0.67	0.61	0.35	0.18			
$\geq 1700$	1.00	0.81	0.62	0.42	0.23	0.08			

**Tabla 2.7.** Factor de ajuste por giros a la derecha. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

CASO	TIPO DE GRUPO DE CARRILES	FACTOR DE GIRO A LA DERECHA, $f_{MD}$							
6	CARRIL PARA MD COMPARTIDO: FASE PROTEGIDA Y PERMITIDA	$f_{MD} = 1.0 - P_{MD}[0.15 + (pt/2100)(1 - P_{MDA})]$ $f_{MD} = 0.05$ (mínimo)							
		Prop. de MD que utiliza fase protegida	N° de peat. Conf. (pt.)	Prop. de MD en el grupo de carriles $P_{MD}$					
		0.00	Todos	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		Igual que en el caso 5							
		0.20	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85
			50	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83
			200	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77
			400	1.00	0.94	0.88	0.82	0.76	0.70
			600	1.00	0.92	0.85	0.77	0.70	0.62
			1000	1.00	0.89	0.79	0.68	0.58	0.47
			1400	1.00	0.86	0.73	0.59	0.45	0.32
			≥ 1700	1.00	0.84	0.68	0.52	0.36	0.20
0.40	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85		
	50	1.00	0.97	0.93	0.90	0.87	0.84		
	200	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79		
	400	1.00	0.95	0.89	0.84	0.79	0.74		
	600	1.00	0.94	0.87	0.81	0.74	0.68		
	1000	1.00	0.91	0.83	0.74	0.65	0.56		
	1400	1.00	0.89	0.78	0.67	0.56	0.45		
	≥ 1700	1.00	0.87	0.75	0.62	0.49	0.36		
0.60	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85		
	50	1.00	0.97	0.94	0.90	0.87	0.84		
	200	1.00	0.96	0.92	0.89	0.85	0.81		
	400	1.00	0.95	0.91	0.86	0.82	0.77		
	600	1.00	0.95	0.89	0.84	0.79	0.74		
	1000	1.00	0.93	0.86	0.80	0.73	0.66		
	1400	1.00	0.92	0.83	0.75	0.67	0.58		
	≥ 1700	1.00	0.91	0.81	0.72	0.62	0.53		
0.80	0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85		
	50	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85		
	200	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83		
	400	1.00	0.96	0.92	0.89	0.85	0.81		
	600	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.79		
	1000	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75		
	1400	1.00	0.94	0.89	0.83	0.77	0.72		
	≥ 1700	1.00	0.94	0.88	0.81	0.75	0.69		
1.00	Todos	Igual que en caso 4							
7	ACCESO UNICARRIL	$f_{MD} = 0.90 - P_{MD}[0.135 + (pt/2100)]$ $f_{MD} = 0.05$ (mínimo)							
		N° de peat. Conf. (pt.)	Prop. de MD en el carril único $P_{MD}$						
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
		0	1.00	0.87	0.85	0.82	0.79	0.77	
		50 (Bajo)	1.00	0.87	0.84	0.80	0.77	0.74	
		100	1.00	0.86	0.83	0.79	0.75	0.72	
		200 (Med)	1.00	0.85	0.81	0.76	0.72	0.67	
		300	1.00	0.84	0.79	0.73	0.68	0.62	
		400 (Alto)	1.00	0.83	0.77	0.70	0.64	0.57	
		600	1.00	0.82	0.73	0.65	0.56	0.48	
		800	1.00	0.80	0.69	0.59	0.49	0.38	
		1000	1.00	0.78	0.66	0.53	0.41	0.29	
		1200	1.00	0.76	0.62	0.48	0.33	0.19	
1400	1.00	0.74	0.58	0.42	0.26	0.10			
≥ 1700	1.00	0.71	0.52	0.33	0.14	0.05			
8	DOS CARRILES USO EXCLUSIVO MD; FASE PROTEGIDA	0.75							

**Tabla 2.7.** Factor de ajuste por giros a la derecha (continuación). Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

CASO	TIPO DE GRUPO DE CARRILES	FACTOR DE GIRO A LA IZQUIERDA, $F_{MI}$						
1	CARRIL EXCLUSIVO MI: FASE PROTEGIDA	0.95						
2	CARRIL EXCLUSIVO MI: FASE PROTEGIDA	Procedimiento especial						
3	CARRIL EXCLUSIVO MI: FASES PROTEGIDA Y PERMITIDA	0.95 <sup>a</sup>						
4	CARRIL COMPARTIDO MI: FASE PROTEGIDA	$f_{MI} = 1.0/(1.0 + 0.05P_{MI})$						
		Prop. de MI en carril $P_{MI}$	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		Factor	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95
5	CARRIL EXCLUSIVO MI: FASE PERMITIDA	Procedimiento especial						
6	CARRIL COMPARTIDO MI: FASES PROTEGIDA Y COMPARTIDA	$f_{MI} = (1400 - Q_O)/[(1400 - Q_O) + (235 + 0.435Q_O)P_{MI}]; \leq 1220 \text{ v/h}$ $f_{MI} = 1/[1 + 4.525P_{MI}]; Q_O > 1220 \text{ v/h}$						
		Volumen Sent. Opuesto, $Q_O$	Prop. De giros a la izquierda, $P_{MI}$					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
200	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79		
400	1.00	0.92	0.86	0.80	0.75	0.71		
600	1.00	0.89	0.80	0.73	0.67	0.62		
800	1.00	0.84	0.72	0.63	0.56	0.51		
1000	1.00	0.75	0.60	0.50	0.43	0.37		
1200	1.00	0.57	0.40	0.31	0.25	0.21		
$\geq 1220$	1.00	0.54	0.37	0.28	0.23	0.19		
7	ACCESO UNICARRIL	Procedimiento especial						
8	DOBLE CARRIL EXCLUSIVO MI: FASE PROTEGIDA	0.92						

<sup>a</sup> Este valor es una primera estimación. En este caso se iterará la solución. En muchos casos es aconsejable tratar este caso como fases separadas una protegida y otra permitida

**Tabla 2.8.** Factor de ajuste por giros a la izquierda. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

### 2.3.3.4 Módulo de análisis de capacidad

En este módulo se utilizan los resultados de los módulos anteriores para obtener las variables básicas de la capacidad:

1. Relación de intensidades de cada grupo de carriles.
2. Capacidad de cada grupo de carriles.
3. Relación  $I/c$  De cada grupo de carriles.
4. Relación crítica  $I/c$  de la intersección completa.

*Cálculo de las capacidades de los grupos de carriles.* - El parámetro de capacidad más importante es la relación  $I/c$  crítica,  $X_c$  De la intersección, ésta se calcula como:

$$X_c = \sum_i (I/S)_{ci} x [C/(C - L)]$$

Esta relación indica la proporción de la capacidad disponible utilizada por los vehículos de los grupos de carriles críticos. Si esta relación es superior a 1.00, querrá decir que uno o más grupos de carriles críticos están sobresaturados. Esto es un indicador de que el diseño de la intersección, la duración del ciclo, el plan de fases o el reglaje semafórico es inadecuado para la demanda.

*Cálculo de las relaciones  $I/c$  de los grupos de carriles.* – estos cálculos se realizan con la relación que existe entre el tiempo de duración de verde y la duración del ciclo completo para cada grupo de carriles.

*Agregación de resultados.* –en esta parte se seleccionan los valores mayores obtenidos de la relación que existe entre el tiempo de duración de verde y la duración del ciclo semafórico en el sentido de norte a sur y de este a oeste, de los cuales se eligen para cada caso los valores más grandes.

### 2.3.3.5 Módulo de nivel de servicio

*Cálculo de las demoras de los grupos de carriles.* – en el módulo de nivel de servicio se estima para el grupo de carriles la demora media en parada por vehículo, así como la media para cada acceso y para la intersección completa.

Para la determinación del cálculo de las demoras se considera Lo siguiente:

1. Demora asumiendo llegadas aleatorias: la demora para cada grupo de carriles se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$d = 0.38C \frac{(1 - g/C)^2}{\left[1 - \left(\frac{g}{C}\right)(X)\right]} + 173X^2 \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (16X/c)}\right]$$

Donde:

$d$  = la demora media en parada por vehículo para un grupo de carriles, en *seg/veh.*

$C$  = duración de ciclo, en *seg.*

$g/C$  = relación de verde para el grupo de carriles: es el cociente del tiempo verde efectivo entre la duración del ciclo.

$X = I/c$  para el grupo de carriles, y

$c$  = capacidad para el grupo de carriles.

2. Factor de ajuste de progresión. – en la expresión anterior se asume para su cálculo llegadas aleatorias. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las llegadas no son aleatorias, sino que los vehículos llegan en columna como resultado de la progresión semafórica, y de otros factores. Como parte de los datos de entrada de un análisis de la circulación, se definen 5 tipos de llegada y se deben especificar uno para cada grupo de carriles. Se multiplica la demora obtenida con la ecuación anterior por el factor de ajuste de progresión dado en la siguiente Tabla 2.9.

TIPO DE SEMAFORO	TIPOS DE GRUPOS DE CARRILES	RELACIÓN $I/c$ $X$	TIPO DE LLEGADA <sup>a</sup>				
			1	2	3	4	5
Predeterminado	MR, MD	≤ 0.60	1.85	1.35	1.00	0.72	0.53
		0.80	1.50	1.22	1.00	0.82	0.67
		1.00	1.40	1.18	1.00	0.90	0.82
Accionado	MR, MD	≤ 0.60	1.54	1.08	0.85	0.62	0.40
		0.80	1.25	0.98	0.85	0.71	0.50
		1.00	1.16	0.94	0.85	0.78	0.61
Semiaccionado	Calle principal MR, MD <sup>b</sup>	≤ 0.60	1.85	1.35	1.00	0.72	0.42
		0.80	1.50	1.22	1.00	0.82	0.53
		1.00	1.40	1.18	1.00	0.90	0.65
Semiacondicionado	Calle Secundaria MR, MD <sup>b</sup>	≤ 0.60	1.48	1.18	1.00	0.86	0.70
		0.80	1.20	1.07	1.00	0.98	0.89
		1.00	1.12	0.14	1.00	1.00	1.00
	Todos MI <sup>c</sup>	Todos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

<sup>a</sup> Tipo de Llegada

<sup>b</sup> En general se ajustan los semáforos se me accionados o semi actuados de forma que asignan todo el tiempo de verde excedente a la calle principal. Debe tenerse en cuenta al asignar los tiempos de verde.

<sup>c</sup> Esta categoría se refiere a los grupos de carriles para uso exclusivo de los MI. Cuando los MI estén comprendidos en un grupo de carril que abarque todo el acceso, use el factor para el tipo de grupo de carril completo. Cuando los MI intensos estén intencionadamente coordinados, aplíquese los factores del movimiento en recto apropiado.

**Tabla 2.9.** Factor de ajuste de progresión. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

*Agregación de las demoras.* – el procedimiento de estimación de la demora proporciona la media de parada por vehículo para cada grupo de carriles. Es deseable agregar estos valores para conseguir la demora media del acceso a la intersección y la de la intersección completa. En general, esto se hace calculando las medias ponderadas, afectando a cada demora de grupo de carriles de su flujo ajustado.

*Determinación de los niveles de servicio.* –el nivel de servicio de la intersección está directamente relacionado con la demora media en parada por vehículo. Una vez estimadas las demoras para cada grupo de carril, y de agregarse para cada acceso y para la interacción completa, se determinan los niveles de servicio apropiados consultando la siguiente tabla:

NIVEL DE SERVICIO	DEMORA POR PARADA POR VEHICULO (seg)
A	5.0
B	5.1 a 15.0
C	15.1 a 25.0
D	25.1 a 40.0
E	40.0 a 60.0
F	60.0

**Tabla 2.10.** Criterios de nivel de servicio para intersecciones semafóricas. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

El *nivel de servicio A* describe las operaciones cuando existe muy poca demora, es decir, inferior a 5.0 segundos por vehículo. Esto ocurre cuando el avance es extremadamente favorable y la mayoría de los vehículos llegan durante la fase de verde. La mayoría de los vehículos no se detienen para nada. Los ciclos de corta duración también pueden contribuir a que la demora sea corta.

El *nivel de servicio B* describe aquellas operaciones cuya demora figura dentro de la gama de 5.1 a 15.0 segundos por vehículo. Esto ocurre generalmente con una buena progresión y con ciclos cortos se detienen más vehículos que con el nivel A dando lugar a una mayor demora media.

El *nivel de servicio C* describe aquellas operaciones cuya demora fluctúa entre 15.1 a 25.0 segundos por vehículo. Estas demoras más prolongadas pueden ser debidas a una progresión de calidad regular o a ciclos más prolongados. En este nivel es posible que se empiece a producir falta de capacidad en algún ciclo individualizado. En este nivel el número de vehículos que se detiene es significativo, aunque muchos atraviesan todavía la intersección sin detenerse.

El *nivel de servicio D* describe aquellas operaciones para las que la demora fluctúa entre 25.1 a 40.0 segundos por vehículo. En el nivel D la influencia de la congestión se hace más notable. Se puede producir demoras más

prolongadas debido a alguna combinación de progresión, duraciones de ciclo prolongadas, o altas relaciones  $I/c$ . Muchos vehículos se detienen y la proporción de vehículos que no se detiene disminuye. Las faltas de capacidad en ciclos individuales son notorias.

El *nivel de servicio E* describe aquellas operaciones cuya demora se encuentra comprendida dentro del rango de 40.1 a 60.0 segundos por vehículo. Esto se considera el límite de demora aceptable. Estos altos valores de demora generalmente indican un avance lento, largas duraciones de ciclo y altas relaciones  $I/c$ . Se presenta con frecuencia una insuficiencia de ciertos ciclos individuales.

El *nivel de servicio F* describe aquellas operaciones cuya demora supera los 60.0 segundos por vehículo. Este nivel se considera inaceptable por la mayoría de los conductores. Esta condición se suele presentar cuando hay una sobresaturación, es decir, cuando las intensidades de circulación de llegada superan la capacidad de la intersección. Esto también puede ocurrir con relaciones  $I/c$  altas, inferiores a 1.00, y muchos ciclos insuficientes. Una deficiente progresión y duraciones de ciclo prolongadas pueden ser así mismo las causas fundamentales de unos niveles de demora tan elevados.

### 2.3.3.6 Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en el cálculo de nivel de servicio de una intersección proporcionan dos datos que deben considerarse.

1. Las relaciones  $I/c$  de cada grupo de carriles y de la intersección completa.
2. Las demoras medias de tiempo en parada para cada grupo de carriles y acceso, y para la intersección completa, y los niveles de servicio correspondientes.

Cualquier relación  $I/c$  mayor que 1.00 indica colapsos existentes o potenciales, situación que debe mejorarse. Cuando la relación  $I/c$  crítica es inferior a 1.00, pero existen relaciones de  $I/c$  de algún grupo de carriles mayores que 1.00, quiere decir que el tiempo de verde no se ha asignado de manera apropiada, y se debe intentar un nuevo ajuste semafórico utilizando el plan de faces se existente.

Cuando la relación  $I/c$  crítica es mayor que 1.00, indica que el proyecto general del trazado y de la temporización semafórica proporciona una capacidad inadecuada para los flujos existentes o previstos. Se pueden considerar algunas mejoras:

1. Cambios fundamentales en la geometría de la intersección (número y utilización de los carriles).
2. Alargamiento del ciclo semafórico.
3. Cambio del plan de fases.

Debe tenerse en cuenta también que las relaciones  $I/c$  cercanas a 1.00 representan situaciones con poca capacidad disponible para absorber incrementos de la demanda.

Cuando las demoras sean inaceptables deben examinarse con cuidado las causas de estas. El análisis debe considerar simultáneamente los resultados de los módulos de análisis de capacidad y del nivel de servicio para obtener una imagen completa de funcionamiento de la intersección existente o proyectada.

## 2.4 Nivel de servicio en arterias viales urbanas.

### 2.4.1 Definiciones

Las arterias urbanas o también conocidas como suburbanas son calles semaforizadas que dan servicio esencialmente al tráfico de paso y, como función secundaria, proporcionan acceso a propiedades colindantes. Para el HCM se definen como vías con un espaciamiento de intersección de semaforización igual o inferior a 3 km, y movimientos de giro en las intersecciones que generalmente no exceden el 20% de los volúmenes totales de la circulación.

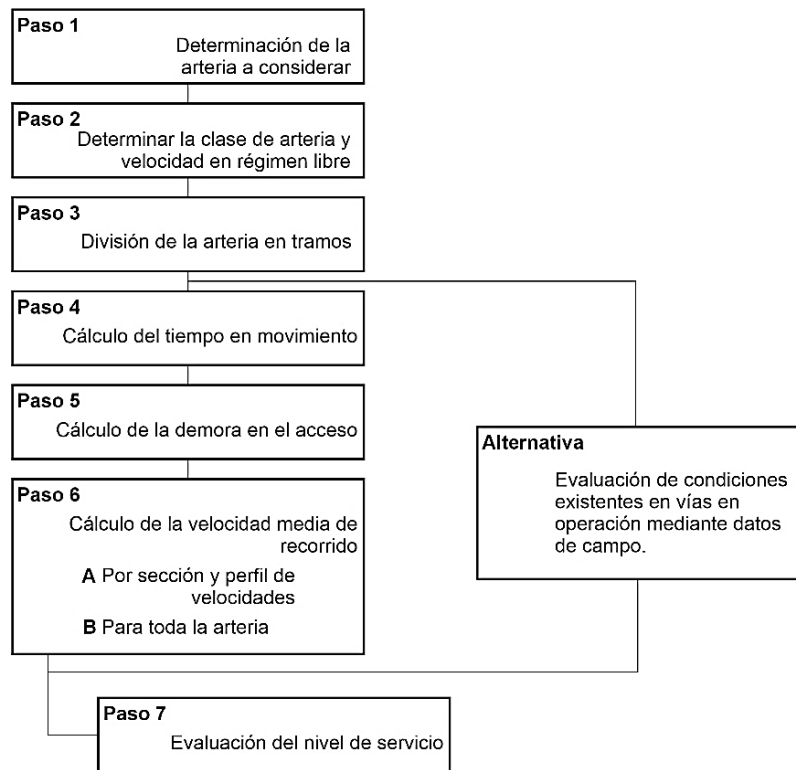
### 2.4.2 Usos específicos del nivel de servicio en arterias viales.

La determinación mediante el cálculo del nivel de servicio en arterias viales puede ser utilizada por aquellos profesionales interesados en la planificación, proyecto y funcionamiento de las arterias viales, para evaluar el nivel de servicio en una arteria existente o en un proyecto. La metodología utilizada en el HCM, está orientada a la evaluación de una determinada circulación existente, o a la evaluación de una alternativa específica de proyecto mediante la determinación del nivel de servicio.

Con el cálculo del nivel de servicio en arterias viales es posible obtener el efecto del espaciamiento de los semáforos, de la clase de arteria, y de la intensidad sobre el nivel de servicio de la arteria.

### 2.4.3 Método para calcular el nivel de servicio LOS en arterias viales semaforizadas.

El procedimiento para determinar el nivel de servicio arterial tiene siete pasos:



**Figura 2.4.** Metodología para determinar el nivel de servicio de arterias viales. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

#### 2.4.3.1 Paso 1 - Determinación de la arteria a considerar

En esta primera etapa se debe definir con precisión la longitud de la arteria a considerar, incluyendo el conjunto de todos los datos físicos, semafóricos y de tráfico importantes.

#### 2.4.3.2 Paso 2 – Determinar la clase de arteria y la velocidad en régimen libre.

El HCM ha definido tres clases de arteria en base a la función y diseño arterial. Dentro de cada clase, las velocidades en régimen libre pueden variar dentro de una cierta gama.

La velocidad en régimen libre es la velocidad media de los vehículos sobre las secciones de tramos arteriales que no están cerca de intersecciones con semáforos, observadas bajo condiciones de volumen de tráfico muy bajo, cuando los conductores no están restringidos por otros vehículos o por semáforos.

Una *arteria principal* da servicio a movimientos de paso importantes entre centros de actividad importantes dentro de una zona metropolitana, y a una porción sustancial de viajeros que acceden y salen de la zona.

Una arteria menor es una carretera que conecta e incrementa el sistema arterial principal. Pese a que su función principal sigue siendo la movilidad del tráfico, realiza dicha función a un nivel ciertamente inferior, poniendo más énfasis en la accesibilidad a los terrenos o predios.

Dentro de la clasificación funcional, la arteria se subclasifica por la calidad de su proyecto en:

1. Proyecto suburbano – es el de una arteria con un control de accesos parcial o total, con carriles de giro a la izquierda separados y sin estacionamiento.
2. Proyecto de calidad media – puede tratarse de una vía multicarril de calzadas separadas o de calzada única, de un solo sentido o bidireccional de dos carriles.
3. Proyecto típicamente urbano – es el de una arteria con escaso ó nulo control de accesos desde las vías colindantes. Se trata de una arteria unidireccional o bidireccional de una sola calzada, con dos o mas carriles. Generalmente se permite el estacionamiento. No existen carriles de giro a la izquierda separados, y se produce cierta interferencia peatonal.

A continuación en la Tabla 2.11 se presenta una guía para la clasificación de las Clases de arterias.

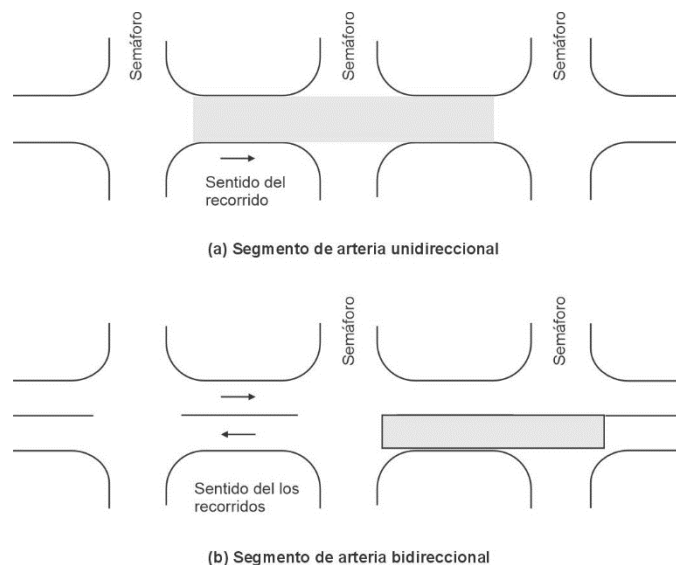
Clase de Arteria	Campo de velocidades en régimen libre (km/h)	
I	56	72
II	48	56
III	40	56

**Tabla 2.11.** Velocidades en régimen libre según su clase arterial. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

### 2.4.3.3 Paso 3 – Dividir la arteria en tramos.

La unidad básica de la arteria es el segmento, que es la distancia entre dos intersecciones con semáforos consecutivos en un sentido de circulación.

En la siguiente ilustración se muestran los tipos de segmentos en arterias unidireccionales y bidireccionales respectivamente.



**Figura 2.5.** Ilustración de tipos de segmentos. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

#### 2.4.3.4 Paso 4 – Calcular el tiempo en movimiento arterial.

Dos son los componentes principales del tiempo total que un vehículo pasa en un tramo, y en la arteria: el tiempo en movimiento arterial y la demora en el acceso a las intersecciones.

$$VEL ART = \frac{3600 * Longitud}{((tiempo en movimiento por kilómetro) * (longitud)) + (Demora total en el acceso a las intersecciones)}$$

*VEL ART* = velocidad media de recorrido de la arteria o del tramo, en Km/hr.

*Longitud* = longitud de la arteria o tramo, en kilómetros.

*Tiempo en movimiento por kilómetro* = tiempo total en movimiento por kilómetro en todos los segmentos de la arteria o del tramo, en seg.

*Demora total en el acceso a las intersecciones* = demora total en el acceso a todas las intersecciones dentro del tramo o arteria definidos, en seg. Este se relaciona fácilmente con las demoras en las paradas de las intersecciones semaforizadas.

3600 es un factor de conversión para calcular la velocidad arterial en Km/hr.

Para calcular el tiempo en movimiento en un segmento, el analista debe conocer:

1. La clase de arteria
2. La longitud del segmento, en kilómetros
3. La velocidad en régimen libre, en Km/hr

El tiempo en movimiento se puede conocer consultando la Tabla 2.12

CLASE DE ARTERIA	I			II		III		
VELOCIDAD EN RÉGIMEN LIBRE	72	64	56	56	48	56	48	40
LONGITUD MEDIA DEL SEGMENTO (km)	TIEMPO EN MOVIMIENTO POR KILOMETRO (seg/km)							
0.800							141.1	164.7
0.160				90.1	96.3	102.5	111.9	136.7
0.240				83.9	87.6	87	93.2	111.9
0.320	67.4	71.5	77.7	79.5	83.3	80.8	87	102.5
0.400	64.6	68.3	74.0	74.6	78.9	75.8	82	95.1
0.480	61.5	63.4	68.3					
0.640	58.4	56.7	65.3					
0.800	54.7	57.8	64.0					
1.600	49.7	55.9	64.0					

1. Lo mejor es disponer de una estimación de la velocidad en régimen libre. Si no existe vease la tabla de arriba asumiendo los siguientes valores sustitutivos por omisión.

Para la clase	Velocidad libre
I	64
II	56
III	48

2. En el cálculo del tiempo en movimiento por kilómetro del segmentos largos de la Clase I (1.6 Km), se pueden utilizar las velocidades en régimen libre. Estos tiempos vienen indicados en las celdas correspondientes a segmentos de 1.6 Km de longitud.

3. Si una arteria tiene un segmento de longitud inferior a 320 m el usuario debe: (a) revisar la clasificación, y si debe permanecer como segmento diferenciado, entonces (b) usar los valores correspondientes a 0.320 Km.

4. De la misma forma los segmentos de longitud superior a 0.4 Km de la Clase II y Clase III deben revisarse. Si es necesario los valores de arriba pueden extrapolarse.

5. Aunque en esta tabla el tiempo en movimiento no aparece dependiente de la intensidad, es lógico que esta dependencia exista. Sin embargo la dependencia de la demora de la intersección de la intensidad es mucho mayor y en consecuencia es dominante en el cálculo de la velocidad de recorrido arterial.

**Tabla 2.11.** Tiempo en movimiento de un segmento por kilómetro. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

#### 2.4.3.5 Paso 5 – Tabular la información sobre intersecciones y calcular la demora.

Para determinar la velocidad del tramo o de la arteria, será necesario tomar las demoras individuales de cada intersección. También se utilizará el concepto de grupo de carriles para el tránsito de paso utilizado en intersecciones semaforizadas.

La demora a la que se refiere el párrafo anterior se calcula como:

$$\text{Demora total en el acceso} = 1.3 * (\text{Demora de parada en la intersección}) + (\text{Termino de segundo orden})$$

El termino de segundo orden es un refinamiento del efecto de la sincronía de los semáforos sobre la demora de los accesos. Dada la precisión de los diversos cálculos en la demora de parada, este refinamiento puede despreciarse. Por lo tanto, la expresión queda como:

$$D = 1.3 * d$$

$D$  =es la demora en el acceso de las intersecciones, en seg/veh.

$d$  =es la demora causada por una parada en la intersección, en seg/veh y se calcula como en las intersecciones semaforicas.

Cuando no se dispone de la capacidad, o si se desea obtener la intensidad corregida de la demanda (denominada  $I$ , en unidades de  $v/h$ ), recuérdese que la relación  $I/c$ . La “intensidad corregida de la demanda” se calcula aplicando el factor de hora punta y el factor de uso de carril:

$$I = \left( \frac{Q}{FHP} \right) * U$$

$I$  = Intensidad corregida de la demanda para el grupo de carriles, en  $v/h$ .

$Q$  = intensidad de la demanda del grupo de carriles, en  $v/h$ .

$FHP$  =factor de hora pico.

$U$  =factor de uso de carril

En la Tabla 2.12. se muestran los valores para el factor de utilización de carril.

N° DE CARRILES DE PASO DEL GRUPO (EXCLUIDOS LOS UTILIZADOS POR LOS VEHICULOS QUE GIRAN A LA IZQUIERDA)	FACTOR DE UTILIZACIÓN DE CARRIL, U
1	1.00
2	1.05
3	1.10

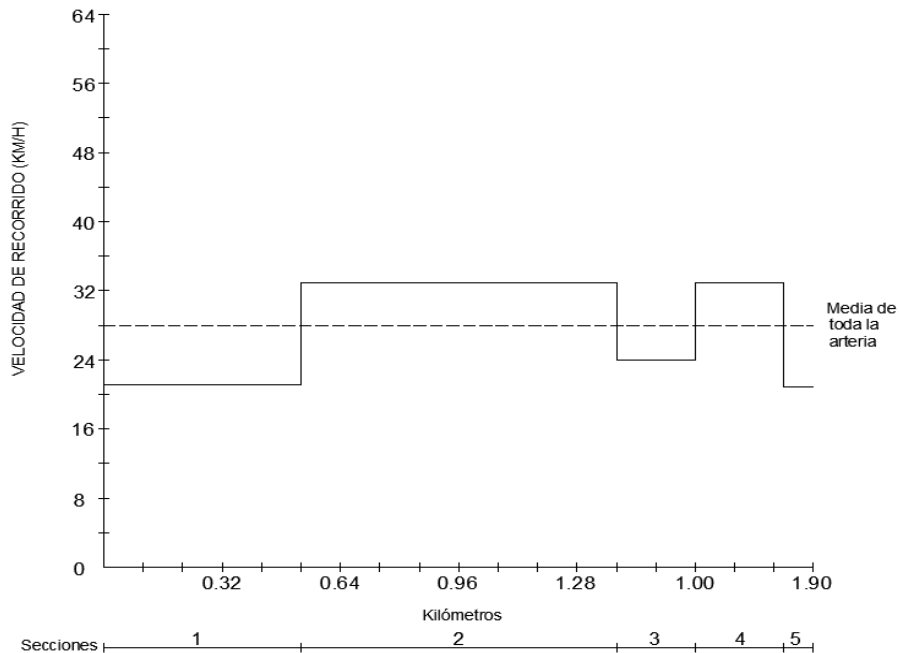
**Tabla 2.12.** Factor de utilización de carril. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

Por otra parte, es necesario considerar la calidad de progresión sobre el segmento que incluye a la intersección y ejerce un efecto importante sobre la demora en la intersección. En la Tabla 2.9 se mostraron los valores correspondientes para el factor de progresión, para este paso es necesario aclarar que solo se deben tomar en cuenta los valores para los tipos de semáforo: predeterminado, actuado y semiactuado.

#### 2.4.3.6 Paso 6 – Calcular la velocidad media de recorrido.

La velocidad media debe calcularse por tramos, y para el total de la arteria. Se recomienda que el usuario prepare también un perfil de velocidades de la vía, y supla los datos de la evaluación del nivel de servicio con el análisis de ese perfil y de los niveles de servicio de las intersecciones consideradas individualmente.

A continuación, se presenta un perfil de velocidades por secciones de arteria.



**Figura 2.6.** Perfil de velocidades por secciones de arteria. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985)

#### 2.4.3.7 Paso 7 – Evaluación del nivel de servicio.

Existe una serie de valores distintos del nivel de servicio establecidos para cada clase de arteria. Estos se basan de las diversas expectativas que se supone tienen los usuarios conductores respecto de las diferentes clases de arteria. Por lo general, los niveles de servicio arterial se basan en el movimiento eficaz y fluido del tráfico de paso a lo largo del total de la arteria. Por lo tanto, es necesario prever menos demora por segmento, que la correspondiente al nivel de servicio de la intersección.

A continuación, en la tabla se exponen los criterios de niveles de servicio para intersecciones y arterias.

<b>NS DE INTERSECCIÓN</b>	
<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>DEMORA POR PARADA POR VEHICULO (seg)</b>
A	≤ 5.0
B	5.1 a 15.0
C	15.1 a 25.0
D	25.1 a 40.0
E	40.0 a 60.0
F	≥ 60.0

<b>NS ARTERIAL</b>			
<b>CLASE DE ARTERIA/</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Campo de variación de velocidad libre (km/h)	72 a 56	56 a 48	56 a 40
Velocidad libre típica (km/h)	64 Km/h	56 Km/h	43 Km/h

<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>VELOCIDAD DE RECORRIDO MEDIA (Km/h)</b>		
A	≥ 56	≥ 48	≥ 40
B	≥ 45	≥ 39	≥ 31
C	≥ 35	≥ 29	≥ 21
D	≥ 27	≥ 23	≥ 14
E	≥ 21	≥ 16	≥ 11
F	< 21	< 16	< 11

**Tabla 2.13.** Criterios de niveles de servicio para intersecciones y arterias. Fuente (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

## 2.5 Relación de IRI con nivel de servicio en Intersecciones viales semaforizadas y arterias viales.

### 2.5.1 Introducción

Hasta este momento se han definido los conceptos de IRI y de nivel de servicio en intersecciones viales semaforizadas y arterias viales. Sin embargo, se puede notar que la metodología empleada por el HCM, no contempla los efectos de las condiciones físicas de la superficie de rodamiento. En nuestro

país y en concreto en la red urbana de la ciudad de Puebla, se pueden observar tramos que se encuentran en mal estado, invadidos por baches o deformaciones del pavimento que impactan en el nivel de servicio de la infraestructura vial. En párrafos anteriores se ha definido el concepto de nivel de servicio, que a grandes rasgos es el nivel de eficiencia con la que cierta vialidad cuenta para cierta demanda. La eficiencia en términos de nivel de servicio se mide con las demoras o con el tiempo que los usuarios ocupan para recorrer una sección vial determinada.

## 2.5.2 Antecedentes

El IMT en su publicación técnica No. 262 denominada: “Efecto de la regularidad superficial en la capacidad vial de autopistas y carreteras multicarril mexicanas”, se ha abordado el impacto que tiene el IRI en el nivel de servicio de las carreteras. Determinar el nivel de servicio de una vialidad sin considerar los efectos que tiene el índice de regularidad internacional, da como resultado una sobrevaluación del nivel de servicio real. Dicho en otras palabras, es evidente que una vialidad en la cual la superficie de rodamiento no presente daños en su estructura, será más cómodo y seguro para los usuarios transitar, incrementando su eficiencia. Sin embargo, en una vialidad en la que la superficie de rodamiento presenta daños en la estructura del pavimento, para el usuario es más incomodo e inseguro transitar y por tanto el nivel de servicio es mermado por las demoras, que le implican al usuario al esquivar irregularidades en el pavimento. El IMT, ha realizado una serie de mediciones de velocidad de punto en tramos experimentales mexicanos con distintas combinaciones de valores de ancho de carril e índice Internacional de regularidad, determinando así factores que pueden ser sustituidos en el método que ofrece el HCM, para que con ello se obtengan resultados más certeros en relación al nivel de servicio que presentan las intersecciones y las arterias viales.

A continuación, se presenta en la Tabla 2.14, los resultados obtenidos por el IMT, con relación a la reducción de velocidades por IRI y ancho de carril.

Reducción de velocidad por IRI, y ancho de carril (en km/h)			
IRI	Ancho de carril (m)		
	3.30	3.50	3.65
2.5	10.25	5.71	0.00
3	13.53	8.67	2.70
4	20.18	14.71	8.13
5	26.94	20.91	13.82
6	33.83	27.28	19.77
7	40.83	33.80	25.98
8	47.95	40.48	32.45
9	55.19	47.33	39.18
10	62.55	54.33	46.17
11	70.03	61.50	53.42
12	77.63	68.83	60.93

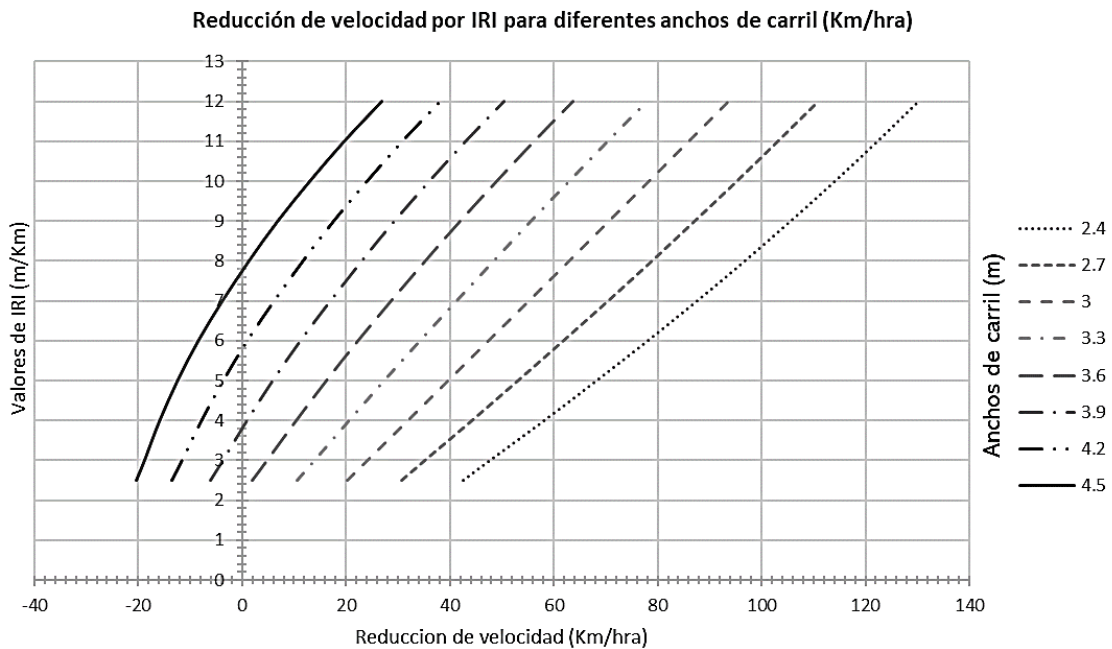
**Tabla 2.14.** Reducción de velocidades por IRI, y ancho de carril (en Km/h). Fuente (IMT, 2004)

En la tabla 2.14. se observa que solo se consideran tres anchos de carril, esto se debe a que en los experimentos realizados por el instituto, solo se realizaron las pruebas en carreteras con estos anchos de carril. En la red urbana podemos encontrar una extensa variedad de anchos de carril. Por lo tanto, en la tabla 2.15 se han obtenido valores para diferentes anchos de carril utilizando métodos de regresión numérica.

Reducción de velocidad por IRI, y ancho de carril (Km/h)									
IRI	Ancho de Carril (m)								
	2.4	2.7	3	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.8
2.5	42.53	30.74	20.19	10.65	1.94	-6.07	-13.49	-20.40	
3	47.67	35.20	24.06	13.97	4.77	-3.70	-11.54	-18.84	
4	58.15	44.27	31.86	20.64	10.39	0.96	-7.77	-15.90	
5	68.24	53.12	39.59	27.35	16.18	5.90	-3.61	-12.47	
6	78.09	61.87	47.36	34.24	22.26	11.23	1.03	-8.47	
7	87.64	70.50	55.17	41.30	28.64	17.00	6.22	-3.82	Use 2 carriles
8	96.83	78.93	62.91	48.42	35.20	23.03	11.77	1.28	
9	105.65	87.13	70.57	55.59	41.91	29.32	17.67	6.83	
10	114.22	95.26	78.29	62.95	48.94	36.05	24.12	13.01	
11	122.41	103.15	85.93	70.34	56.12	43.03	30.91	19.63	
12	130.34	110.95	93.61	77.92	63.60	50.42	38.23	26.87	

**Tabla 2.15.** Reducción de velocidades por IRI, y ancho de carril (en Km/h) para diferentes anchos de carril utilizando regresión numérica. Fuente (Elaboración propia).

Para la obtención de los valores de la tabla 2.15, con los valores de la tabla 2.14 se realizó una regresión numérica de tipo logarítmica, la cual converge mejor en la interpretación de los resultados. De los valores obtenidos en la regresión numérica se obtuvo la gráfica 2.1 donde se exponen los valores de Reducción de velocidad por IRI para diferentes anchos de carril.



**Gráfica 2.1.** Reducción de velocidad por IRI para diferentes anchos de carril (Km/hra). Fuente (Elaboración propia).

### 2.5.3 Nivel de servicio en intersecciones viales considerando los efectos del IRI y ancho de carril.

Para la determinación del nivel de servicio considerando los efectos del IRI y del ancho de carril es necesario obtener los factores correspondientes para introducirlos en el método del HCM, se deben sustituir los factores mostrados en la Tabla 2.1 por los que se obtendrán de la Tabla 2.15. y sustituir en la ecuación:

$$S = S_{\sigma} N f_A f_{VP} f_i f_e f_{bb} f_a f_{MD} f_{MI}$$

Donde el factor de ajuste por anchura de carril  $f_A$ , deberá ser sustituido por el factor

$f_{RACIRI}$  = factor de reducción por IRI y ancho de carril.

Quedando la expresión como:

$$s = s_{\sigma} N f_{RACIRI} f_{VP} f_{ie} f_{bb} f_a f_{MD} f_{MI}$$

Con esta modificación en el cálculo de la intensidad de saturación para el grupo de carriles estudiado, se introduce el efecto que tiene el IRI y el ancho de carril con el nivel de servicio de la intersección.

### 2.5.3.1 Determinación del factor de reducción por efectos del IRI y ancho de carril

Para determinar el factor de reducción por efectos del IRI y ancho de carril, es importante recordar el concepto de flujo de saturación. Para (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018) el flujo de saturación es la tasa máxima de vehículos que cruzan la línea, que puede ser obtenida, cuando existen filas y éstas aún persisten hasta el final del período verde. El flujo de saturación puede expresarse como:

$$F_{sat} = \frac{3,600}{\left(\frac{t_n - t_4}{n - 4}\right)}$$

Donde:

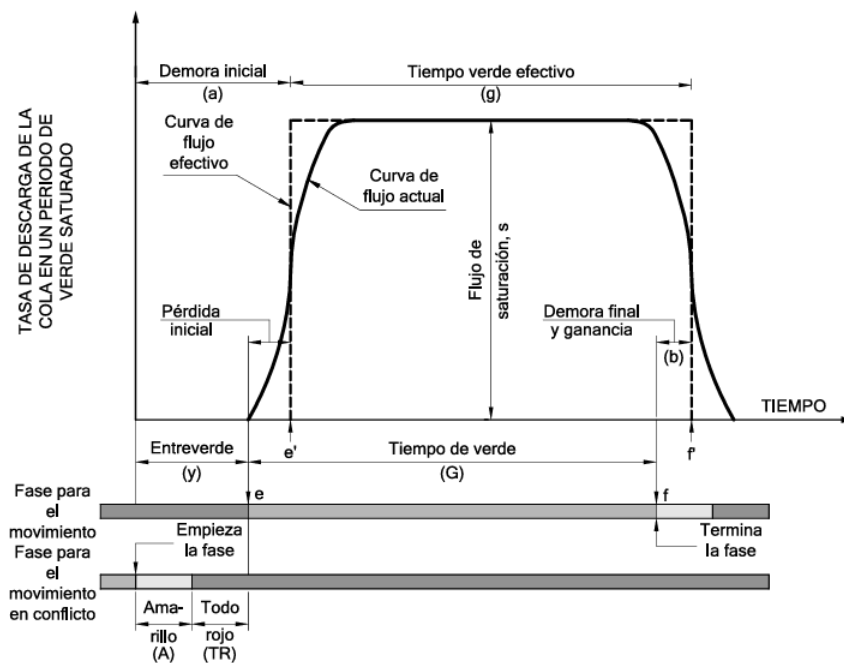
$F_{sat}$  = flujo de saturación, Veh/hra/ carril

3,600 = segundos por hora

$t_n$  = tiempo que el último vehículo se tomó para cruzar la fase en verde, *seg*  
 $t_4$  = tiempo que el cuarto vehículo se tomó para cruzar la fase en verde, *seg*  
 $n$  = número del último vehículo en cruzar en fase verde,  
 $4$  = se restan cuatro vehículos del total de vehículos que cruzan en verde

En la Ciudad de México se han encontrado flujos de saturación del orden de los 1,800 vehículos ligeros por hora de luz verde por carril (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

En la figura 2.7. se muestra el flujo de saturación que es el área bajo la curva de flujo actual.



**Figura 2.7.** Modelo básico de flujo de saturación. Fuente (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

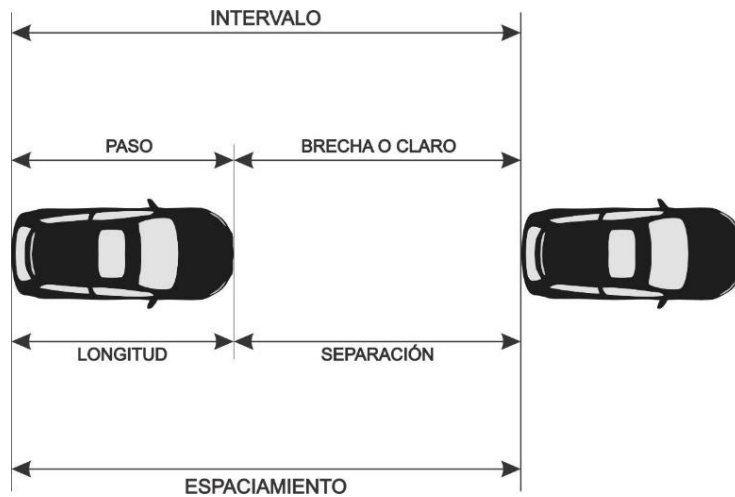
En la ecuación del flujo de saturación se puede observar que el denominador corresponde al intervalo de saturación, el cual puede definirse como la distancia en tiempo que existe entre el paso de un vehículo y otro, cuando la fase de verde se encuentra activada. Puede expresarse como:

$$t_s = \frac{t_n - t_4}{n - 4}$$

Donde:

$t_s$ = intervalo de saturación, *seg.*

En la figura 2.8. se muestra esquemáticamente el intervalo de tiempo que existe entre el paso de un vehículo y otro.



**Figura 2.8.** Intervalo de tiempo entre un vehículo y otro al pasar por la fase de verde. Fuente (Stefanoni M., 2023)

En otras palabras, el intervalo de saturación es el tiempo que le toma a un vehículo cruzar por la línea por donde pasó un vehículo antecesor en la fase de verde de una intersección en un carril determinado. Por lo tanto, el intervalo de saturación se encuentra en función de la *velocidad* en la que los vehículos cruzan la línea, ya que, a mayor velocidad, mayor flujo de saturación; y a menor velocidad, menor flujo de saturación. En la figura 2.8 se observa que el intervalo de saturación que se mide en unidades de tiempo también está definido por la longitud de espaciamiento entre un vehículo y otro. Por lo tanto,

el intervalo de tiempo esta en función de la longitud y de la velocidad, como se muestra en la siguiente expresión:

$$t_s = \frac{e}{\frac{5}{18} v_o}$$

Donde:

$t_s$  = Intervalo de saturación, *seg.*

$e$  = espaciamiento longitudinal entre el paso de un vehículo y otro, *m.*

$v_o$  = velocidad ideal o de proyecto en la que circulan los vehículos, *Km/h.*

$\frac{5}{18}$  = Factor de conversión de unidades de velocidad a *m/seg.*

Cuando la velocidad ideal, o en la que los vehículos tienen permitido el paso, que es la velocidad de diseño de la vialidad, se ve afectada por la calidad de la superficie de rodamiento, disminuye el flujo de saturación, incrementando el periodo de tiempo entre el paso de vehículos, lo que implica que la eficiencia de la vialidad disminuya y con ello el nivel de servicio. El IRI, que es el parámetro que evalúa la regularidad del pavimento, es quien define la reducción de velocidad que puede presentarse en una vialidad por efectos de las condiciones del pavimento, esto incluye reductores de velocidad (topes), fallas en la estructura del pavimento (baches), deformaciones por fatiga en el pavimento (ondulaciones), etc.

Por lo tanto, podemos expresar el flujo de saturación en función de la velocidad como:

$$F_{sat} = \frac{3,600}{\frac{e}{\frac{5}{18} v_o}}$$

O bien:

$$F_{sat} = \frac{1,000v_o}{e}$$

Con esta última expresión se obtiene el flujo de saturación ideal en función de la velocidad ideal ó la velocidad de proyecto. En la tabla 2.15, se muestra la reducción de velocidad por efectos del IRI y del ancho de carril para diferentes valores de IRI y diferentes anchos de carril. Si la intersección en estudio se encuentra con daños en la superficie de rodamiento, disminuirá la velocidad del flujo vehicular y por tanto el flujo de saturación. La expresión de la reducción del flujo de saturación por efectos del IRI y ancho de carril se expresa como:

$$F_{Rsat} = \frac{1,000(v_o - R_v)}{e}$$

Donde:

$F_{Rsat}$  = flujo de saturación reducido por efectos del IRI y del ancho de carril.  
*Veh/hra/ carril*

$v_o$  = velocidad ideal o de proyecto en la que circulan los vehículos, *Km/h*.

$e$  = espaciamiento longitudinal entre el paso de un vehículo y otro, *m*.

$R_v$  = reducción de velocidad obtenida en la tabla 2.15., *Km/h*.

Para poder obtener el flujo de saturación reducido por efectos de IRI y ancho de carril, será necesario despejar primero a  $e$  de la expresión:

$$F_{sat} = \frac{1,000v_o}{e}$$

Si se conoce el flujo de saturación ideal que algunos autores han propuesto con base a estudios en México de 1,800 *veh/hra/carr* y además se conoce la velocidad ideal ó de proyecto de la vialidad, se puede obtener el espaciamiento longitudinal  $e$  y sustituir el valor obtenido en la expresión:

$$F_{Rsat} = \frac{1,000(v_o - R_v)}{e}$$

Por lo tanto, el factor de reducción por efectos de IRI y de ancho de carril será la relación que existe entre el flujo de saturación reducido y el flujo de saturación ideal:

$$f_{RACIRI} = \frac{F_{Rsat}}{F_{sat}}$$

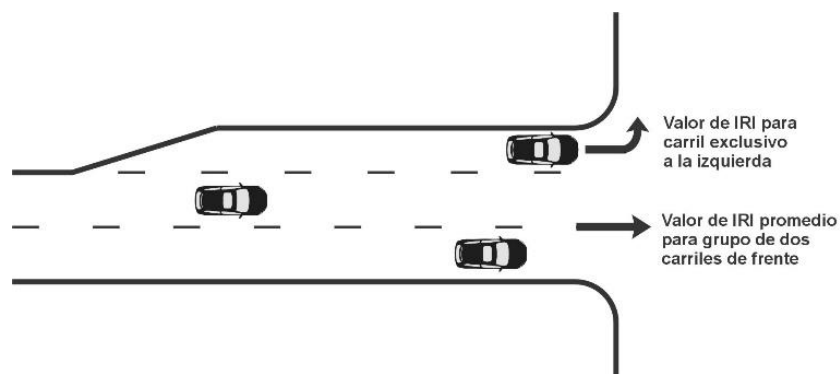
O bien también puede expresarse en términos de eficiencia de velocidades, ya que como se ha dicho anteriormente, a mayor velocidad mayor es el flujo de saturación, y a menor velocidad menor flujo de saturación.

$$f_{RACIRI} = 1 - \frac{R_v}{v_o}$$

Con este factor obtenido se consideran los efectos de las condiciones de la superficie de rodamiento y además el ancho de carril, teniendo un impacto significativo y con mayor certidumbre en la determinación del nivel de servicio de la intersección.

No obstante, es necesario tener en cuenta que en el caso de que el valor de la reducción de velocidad obtenida en la tabla 2.15 sea mayor que la velocidad ideal o velocidad de proyecto, el flujo de saturación correspondería a un valor negativo, lo cual en la realidad significa que el daño de la superficie de rodamiento es tan severo que es prácticamente inaccesible el paso de los vehículos, y por tanto, sería necesario una evaluación del pavimento para mejorar sus condiciones. Esto nos conduce a una justificación técnica sustentada que coadyuva a la planificación del mantenimiento de la red vial urbana de cualquier ciudad y a la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes en la materia, tomando en cuenta no solo el estado físico de la vialidad, sino que, además, considerando la demanda que tiene dicha vialidad.

Por otra parte, cabe la pena mencionar que para la determinación del factor de reducción por efectos de IRI y ancho de carril, es necesario usar el promedio de IRI obtenido para cada grupo de carril, según corresponda. Por ejemplo, si existe carril exclusivo a la izquierda y dos carriles que van de frente, se tendría que introducir en el método del HCM, el valor de IRI correspondiente al carril exclusivo a la izquierda y otro valor de IRI promedio para el grupo de dos carriles de frente. En la figura 2.9 se representa esquemáticamente lo anteriormente mencionado.

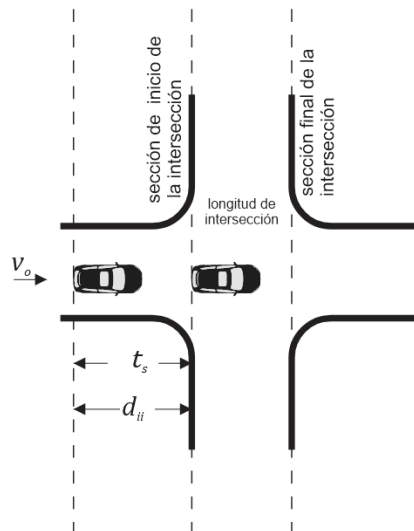


**Figura 2.9.** Valores de IRI para cada grupo de carril. Elaboración propia.

### 2.5.3.2. Áreas de influencia para la determinación del IRI en el estudio de intersecciones semaforizadas.

En el inciso anterior, se ha hablado de la metodología para calcular el factor de reducción por efectos de IRI y ancho de carril para determinar el nivel de servicio de una intersección semaforizada. Dentro de este contexto, es necesario determinar físicamente en una intersección, el área de influencia donde tendrán que realizarse las mediciones de IRI. Partiendo del concepto de intervalo de frecuencia, que se ha definido como el espaciamiento en tiempo entre un vehículo y otro al pasar por una sección determinada, podemos afirmar que dicho espaciamiento también involucra una distancia  $d_{ii}$ , y por tanto la velocidad queda en función de estos dos conceptos.

Por lo tanto, es lógico pensar que la distancia que podemos ocupar antes del cruce de la intersección deberá ser al menos la que se encuentre definida por el intervalo de saturación  $t_s$  y la velocidad ideal o de proyecto  $v_o$  en la que los vehículos cruzan la sección de inicio de la intersección. En la figura 2.10. se representa esquemáticamente la distancia de influencia de la intersección por los efectos de IRI.



**Figura 2.10.** Distancia de influencia  $d_{ii}$  para determinar el IRI en una intersección. Fuente (Elaboración propia).

La expresión con la que se puede calcular la distancia de influencia para determinar el IRI en una intersección queda como:

$$d_{ii} = \frac{5}{18} v_o t_s$$

Donde:

$d_{ii}$  = distancia de influencia de IRI para una intersección semaforizada, *m*.

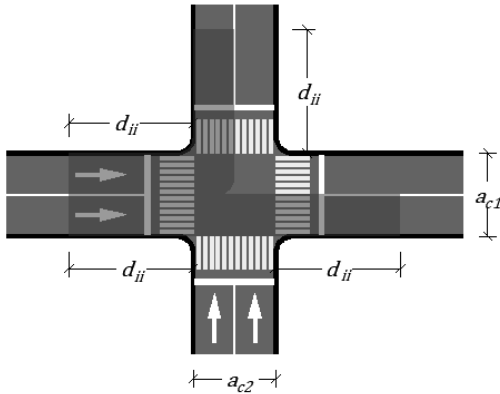
$\frac{5}{18}$  = factor para convertir *Km/h* en *m/seg*.

$v_o$  = velocidad ideal o de proyecto, *Km/h*.

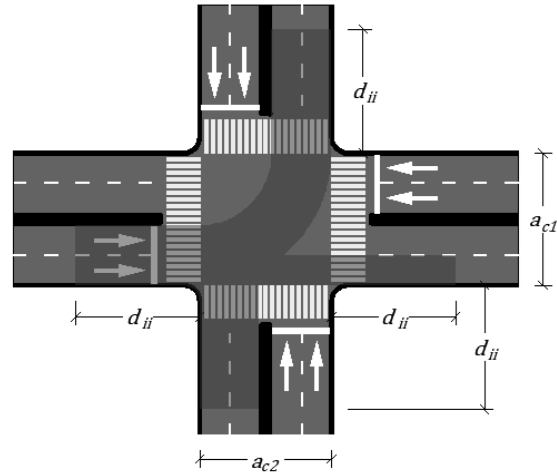
$t_s$  = Intervalo de saturación, *seg*.

La distancia de influencia  $d_{ii}$  es la longitud antes de la sección de inicio de la intersección, que será necesario considerar para la obtención del IRI, y siguiendo el mismo razonamiento podemos utilizar ésta misma distancia de influencia después de la sección final de la intersección. Con estas consideraciones podremos analizar a las intersecciones semaforizadas considerando los efectos de IRI y ancho de carril de manera más objetiva. En la ciudad de Puebla es común observar reductores de velocidad, comúnmente llamados “topes”, antes de una intersección e incluso después de cruzarla, por esta razón la finalidad de determinar el área de influencia por efectos de IRI en las intersecciones es considerar estas condiciones en el análisis. A continuación, en la figura 2.11. se presentan algunos criterios de cómo considerar las áreas de influencia y las longitudes a considerar en el análisis del IRI en las intersecciones semaforizadas.

a) Área de influencia para efectos de IRI y ancho de carril en intersecciones con dos carriles por sentido.



b) Área de influencia para efectos de IRI y ancho de carril en intersecciones bidireccionales con dos carriles por sentido.



**Figura 2.11.** Áreas de influencia por efectos de IRI para la determinación de nivel de servicio en intersecciones viales. Fuente (Elaboración Propia).

## 2.5.4 Nivel de servicio en arterias viales considerando los efectos del IRI.

### 2.5.4.1 Introducción

Para la determinación del nivel de servicio de una arteria vial, el HCM considera la velocidad en régimen libre para calcular el tiempo de recorrido de un segmento de la misma arteria. La velocidad en régimen libre es la velocidad media de los vehículos sobre las secciones de tramos arteriales que no están cerca de intersecciones con semáforos, observadas bajo condiciones de

volumen de tráfico muy bajo, cuando los conductores no están restringidos por otros vehículos o por semáforos. La velocidad media en régimen libre, debe aproximarse a las velocidades deseadas por los conductores (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

El método del HCM determina el nivel de servicio arterial considerando la velocidad arterial obtenida, mediante la suma de los tiempos de las demoras de las intersecciones y el tiempo de recorrido de cada segmento de la arteria. El método del HCM no considera las condiciones físicas de la vialidad en los segmentos de la arteria. Por lo tanto, cuando se considera el estado físico de una vialidad, es posible determinar con mayor certeza el nivel de servicio de una arteria vial y con ello evitar una sobrevaloración.

#### 2.5.4.2 Determinación de nivel de servicio en arterias viales, considerando los efectos de IRI.

Para poder introducir los efectos de las condiciones físicas de la vialidad en términos de valores de IRI en el método del HCM, es importante mencionar que entre mayor sea el valor de IRI en una vialidad, mayor es la reducción de velocidades de los usuarios. En la tabla 2.14, se observan los valores de reducción de velocidad por efectos de IRI y ancho de carril, en donde para carriles de 3.65 m los efectos de ancho de carril no afectan significativamente la reducción de velocidad; sin embargo, el efecto de IRI si tiene un impacto significativo.

Derivado de la definición de velocidad en régimen libre, el método del HCM sugiere que, para calcular la velocidad arterial, se tome en cuenta el tiempo de recorrido de un segmento de la arteria vial, utilizando la velocidad en régimen libre, la cual está determinada bajo condiciones de volumen de tráfico muy bajo y cuando los conductores no están restringidos por otros vehículos o por semáforos. Por tanto, los efectos por ancho de carril pueden ser despreciados.

Si tomamos de la tabla 2.14 solo los valores de reducción de velocidad por efectos de IRI y despreciando los efectos de ancho de carril, obtendríamos los valores mostrados en la tabla 2.16.

IRI	Reducción de velocidad por efectos de IRI (en Km/h)
2.5	0.00
3	2.70
4	8.13
5	13.82
6	19.77
7	25.98
8	32.45
9	39.18
10	46.17
11	53.42
12	60.93

**Tabla 2.16.** Reducción de velocidad solo por efectos de IRI en arterias viales, (en Km/hr). Fuente (IMT, 2004).

Para la determinación del nivel de servicio en arterias viales en el método del HCM, es necesario restar al valor de la velocidad arterial, la reducción de velocidad por efectos de IRI para cada segmento, y con el valor obtenido, determinar el nivel de servicio.

#### 2.5.4.3 Criterios por considerar en la determinación de nivel de servicio en arterias viales considerando los efectos de IRI

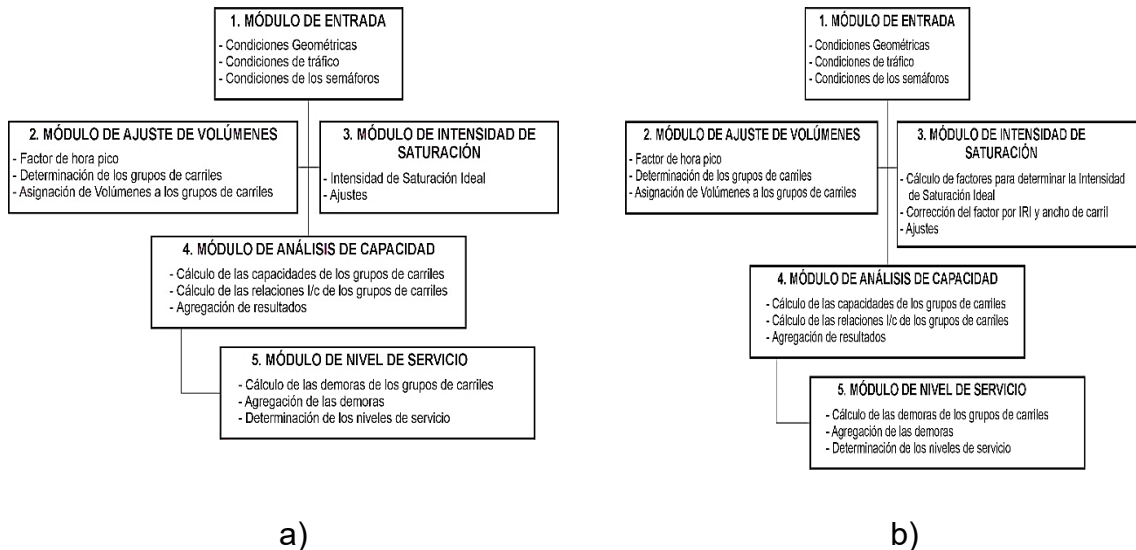
Cuando se requiera obtener el nivel de servicio de una arteria vial, considerando los efectos del IRI, es necesario considerar los siguientes criterios.

- ✓ Para arterias donde se tenga definida la velocidad deseada o de proyecto, ésta puede tomar el valor de velocidad en régimen libre para determinar el tiempo de recorrido de un segmento determinado.
- ✓ Se deberá considerar el valor de IRI promedio de todos los carriles con movimiento que va de frente de cada segmento.

## 2.6 Conclusión capitular

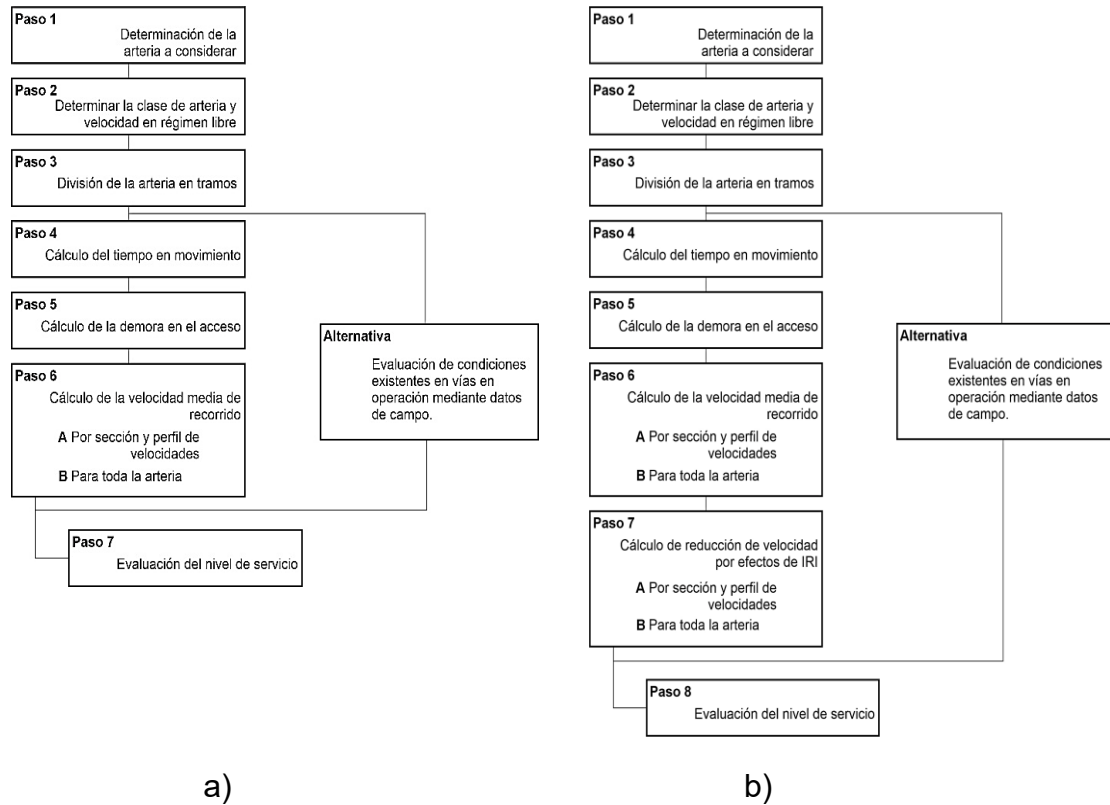
En este capítulo se ha abordado una alternativa nueva para determinar el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas y de arterias viales considerando los efectos de IRI, siguiendo la metodología planteada por el HCM. Con esta nueva alternativa se pretende obtener resultados más cercanos a la realidad para que en la toma de decisiones sobre las soluciones a cada caso en particular, el efecto sea más impactante y genere mayores beneficios a los usuarios de la red urbana.

Para la determinación del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas el método del HCM incluye cinco módulos de análisis. En el módulo tres, correspondiente a la intensidad de saturación se determina el flujo de saturación; en este módulo se realiza la corrección del factor por ancho de carril y por IRI que se ha propuesto en este capítulo. Por lo tanto, en el módulo tres podemos incluir esta corrección y además, podemos observar que este cambio es significativo y tiene un impacto en el resto de los módulos siguientes hasta la determinación del nivel de servicio. En la figura 2.12 se expone las diferencias entre el método original del HCM y el método del mismo HCM pero con la corrección del factor por ancho de carril y por IRI.



**Figura 2.12.** a) Proceso de cálculo para la determinación del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas definido por el HCM. b) Proceso de cálculo para la determinación del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas considerando los efectos de IRI y ancho de carril. Fuente (Elaboración propia).

De forma similar en la determinación del nivel de servicio de arterias viales, el HCM propone siete pasos originalmente. Sin embargo, con el análisis realizado considerando los efectos del IRI en las arterias viales, será necesario la introducción de un paso adicional donde se realice el cálculo de la reducción de velocidad por efectos de IRI, y en el último paso la determinación del nivel de servicio. En la figura 2.13. se puede observar la diferencia entre los siete pasos originalmente propuestos por el HCM y los ocho pasos propuestos, en los que se incluye la corrección de velocidad arterial por efectos de IRI.



**Figura 2.13.** a) Pasos para la determinación de nivel de servicio en arterias viales originalmente propuesto por el HCM. b) Pasos para la determinación de nivel de servicio en arterias viales incluyendo la corrección de velocidades considerando los efectos de IRI. Fuente (Elaboración propia).

De la figura 2.12 podemos observar que en ambos casos, la evaluación de condiciones existentes tomadas mediante datos de campo puede reemplazar los cálculos en los pasos cuatro al seis, en la metodología original del HCM, o del paso cuatro al siete, en la propuesta nueva donde se consideran los efectos de IRI.

Por otra parte, actualmente con los avances de la tecnología, muchos procesos se han convertido en algoritmos computacionales que ayudan a eficientar los procesos de cálculo. En el caso de los paquetes computacionales

existentes que determinan el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas y de arterias viales, estos se basan en la metodología original del HCM, es decir, no incluyen los efectos físicos de la vialidad y por tanto los resultados están sobrevalorados. En el siguiente capítulo se desarrollará mediante el lenguaje de programación Visual Basic, una herramienta que ayude al cálculo para el nivel de servicio de intersecciones viales, así como de arterias viales, incluyendo lo que hasta ahora se ha dicho con relación a los efectos que tiene el ancho de carril y el IRI en el análisis de intersecciones semaforizadas y los efectos del IRI en arterias viales.

## **CAPITULO 3 Presentación de la aplicación: MASTER TRANSIT (Programación en Visual Basic)**

### **3.1 Introducción**

Actualmente existen diversos paquetes computacionales para el análisis del nivel de servicio en intersecciones viales, entre los más destacados se encuentran: VISSIM, TransCad, y HCS, por mencionar algunos. Todos estos paquetes computacionales mencionados, calculan el nivel de servicio de las intersecciones viales considerando condiciones óptimas del pavimento, y aunque los resultados que ofrecen estos softwares son acertados, se omite incluir las condiciones físicas del camino o de la infraestructura, por lo que los resultados pueden ser sobrevalorados.

En este capítulo se describen las funciones y alcances de una aplicación desarrollada para esta investigación (MASTER TRANSIT) en el lenguaje de programación de Visual Basic, donde se incluyen los efectos físicos de la vialidad por medio del parámetro del índice de regularidad internacional conocido mundialmente como IRI, tomando como base lo señalado en el capítulo 2 del presente trabajo de tesis.

### **3.2 Fases del proceso de programación en Visual Basic**

Visual Basic es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Microsoft. El uso de Visual Basic agiliza y simplifica la creación de aplicaciones .NET con seguridad de tipos. (Microsoft, 2024)



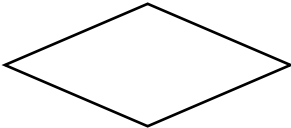
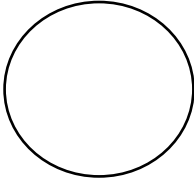
Como en la mayor parte de cada proceso, existen etapas o fases que es necesario seguir para lograr un objetivo final. En la programación no es la excepción, se deben seguir una serie de pasos, para que el programa que desarrollamos funcione correctamente y emita resultados coherentes y acertados.

Para Ceballos (2006) es importante seguir cinco fases en el proceso de programación, las cuales son:

1. *Análisis del problema.* Esto es, conocer el problema antes de proceder a desarrollar la solución.
2. *Desarrollo de la solución.* Hay una desafortunada tendencia por parte de muchos programadores a sucumbir al engañoso atractivo de la máquina, iniciando la fase de construcción e instalación antes de que el problema haya sido resuelto realmente.
3. *Construcción de la solución en forma de programa.* Este proceso es completamente mecánico, ya que consiste en la construcción en forma de un programa real de la solución desarrollada en el paso 2 siguiendo las reglas del lenguaje de programación.
4. *Prueba.* Todo programador experto prueba mentalmente cada instrucción cuando la está escribiendo, y simula, también mentalmente, la ejecución de cualquier módulo o sección de su programa antes de proceder a realizar una prueba real de la etapa. La única manera en que las pruebas pueden demostrar que un programa es correcto es examinar todos los casos posibles, situación que es imposible técnicamente, por eso seleccionaremos un número relativamente pequeño de casos que nos garanticen en un tanto por ciento elevado el buen funcionamiento.

5. *Documentación*. Es imprescindible para la manipulación del programa, así como para su mantenimiento.

También es importante apoyarse de diagramas que faciliten el razonamiento del proceso de programación, y que además nos ayude a traducir dicho proceso mecánico, en lenguaje del programa. A estos diagramas se les conoce como Diagramas de Flujo. A continuación, se presentan los símbolos más utilizados en los diagramas de flujo (Ceballos S., 2006).

FUNCIÓN O SIGNIFICADO	SÍMBOLO
<p><b>1. Proceso</b></p> <p>Proceso interno del ordenador; esto es, cualquier serie de transferencia de datos u operaciones aritméticas.</p>	
<p><b>2. Entrada/Salida-E/S</b></p> <p>Operación de entrada o salida, como lectura o escritura.</p>	
<p><b>3. Decisión</b></p> <p>Verificar si el resultado de una expresión es cierto o falso.</p>	
<p><b>4. Conector</b></p> <p>Punto de referencia que indica dónde debe continuar el diagrama de flujo. Se utiliza para indicar un cambio en el flujo normal de datos (transferencia o bifurcación).</p>	

## FUNCIÓN O SIGNIFICADO

## SÍMBOLO

### 5. Terminal

Indica el comienzo o el punto final de un módulo.



### 6. Entrada desde el teclado

Indica que hay que realizar una entrada de datos desde el teclado.



### 7. Salida hacia una impresora

Presentación de resultados en una impresora.



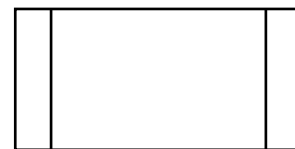
### 8. Sentido del flujo de datos

Indica cuál es la siguiente operación a realizar a partir del símbolo actual en el que nos encontramos.



### 9. Procedimiento

Este símbolo sustituye a todo un subprograma cuyo desarrollo posponemos para el final.



Para la utilización de los diagramas de flujo deben seguirse cuatro reglas:

1. Cada símbolo significa un tipo de operación.

- Entrada/salida
- Proceso
- Decisión
- Transferencia o bifurcación

2. Dentro de cada símbolo se escribe un comentario para indicar la operación o proceso específico que se ha de ejecutar.

3. Los diagramas de flujo se leen de arriba abajo y de izquierda a derecha.

4. Una secuencia de operaciones se ejecuta hasta que un símbolo terminal designa el final de la ejecución o un conector de publicación transfiere el control a otro punto del diagrama.

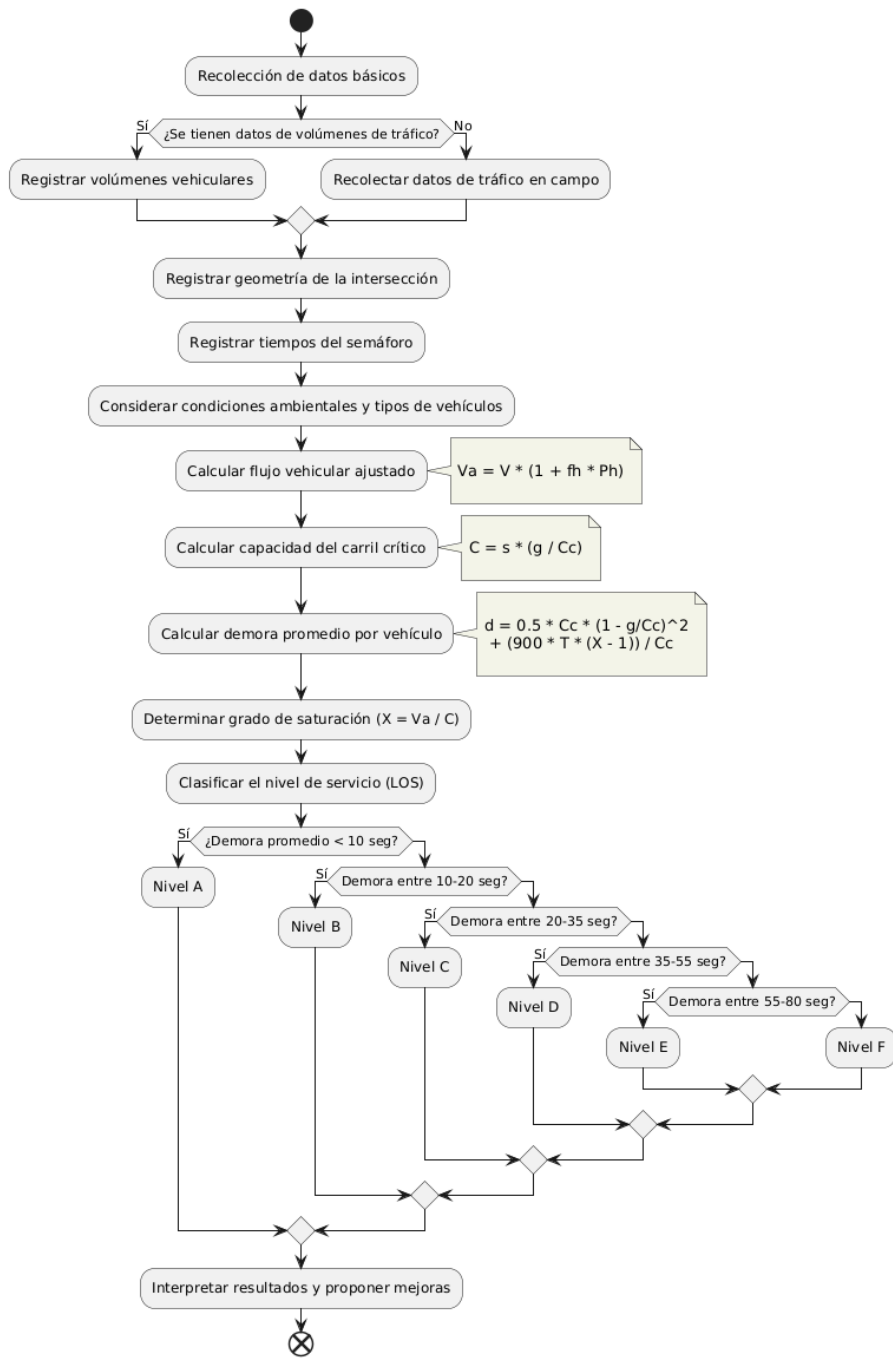
Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado y como parte de este trabajo de investigación, se realizó el desarrollo de una aplicación denominada “MASTER TRANSIT”, el cual realiza los cálculos para obtener los niveles de servicio de arterias viales e intersecciones viales semaforizadas y no semaforizadas, tomando en cuenta el método del HCM e incluyendo los efectos de IRI. La configuración del software se realizó en el lenguaje de programación de Visual Basic, los códigos de programación, así como el manual de operación, se exhiben en el apartado de los anexos de esta tesis.

### 3.3 Programación de Intersecciones semaforizadas

En el capítulo anterior se ha expuesto la metodología para determinar el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas por el método del HCM

y además se han incluido los efectos del IRI. Para hacer la programación en el lenguaje de Visual Basic, como se ha visto en el apartado anterior, será necesario desarrollar los diagramas de flujo correspondientes.

A continuación, en la Figura 3.0. se presenta el diagrama de flujo para la determinación del nivel de servicio de intersecciones semaforizadas utilizando el método del HCM. De este diagrama se puede mencionar que en el apartado denominado “Calcular flujo vehicular ajustado”, se tomará en cuenta los efectos del IRI para la determinación del nivel de servicio, lo cual es un complemento a la metodología planteada por el HCM, para evitar la sobrevaloración del nivel de servicio de la intersección. La comparación de los resultados entre el método original del HCM y la consideración de los efectos de IRI, permitirán visualizar con mayor claridad el estado real de la intersección.



**Figura 3.0.** Diagrama de flujo para la determinación del nivel de servicio de una intersección semaforizada con el método del HCM. Fuente: (ChatGPT, 2025) y (PlantUML, 2025).

Utilizando como apoyo el diagrama anterior se realizó el diseño gráfico del programa en Visual Basic y la recolección de datos básicos.

Estos deben contener:

- El nombre del analista
- Número de proyecto
- Fecha en la que se elabora el informe
- Nombre de la calle en el sentido de Norte a Sur
- Nombre de la calle en el sentido de Oriente a Poniente
- Nombre de la Ciudad y Estado
- Valor del Flujo ideal de saturación
- Intervalo de la hora de máxima demanda
- Tipo de área, si es zona urbana u otro tipo

Input Worksheet

Analyst:  Project No.:  Date: jueves, 6 de febrero de 2025

N/S street:  Area Type:  CBD  Other

E/W street:

City/State:  Ideal Sat. Flow (Veh./hr.): 1800 Time Period Analyzed:  to

**Figura 3.1.** introducción de datos generales. Fuente (Elaboración Propia).

Posteriormente, con los datos de volúmenes de tráfico y la geometría de la intersección, se realiza el registro correspondiente a “Volumen y Geometría”. En esta sección se deben incluir los datos correspondientes a cada sentido de la intersección, los cuales deben contener:

- Posibles grupos de carriles
- Número de carriles
- Ancho de carriles para, vuelta a la izquierda, movimiento de frente y vuelta a la derecha
- Autos aparcados antes de la intersección

- Parada de Autobuses
- Paso Peatonal
- Camellón central
- Caso de giro a la izquierda
- Caso de giro a la derecha
- Volumen vehicular en vuelta a la izquierda
- Volumen vehicular en el movimiento de frente
- Volumen vehicular en vuelta a la derecha
- Número de vehículos equivalentes por vehículos pesados

Volume and Geometrics

### VOLUME AND GEOMETRICS

**Lane Group Possibilities SB**

Direction SB

Lanes TH:

Lane width exclusive LT:

Lane width TH:

Lane width exclusive RT:

Parking (PKG locations)

Bus stop

Peds.

Island (physical or painted)

Case Left Turn SB:

Case Right Turn SB:

**N/S STREET**

**E/W STREET**

**Lane Group Possibilities WB**

Direction WB

Lanes TH:

Lane width exclusive LT:

Lane width TH:

Lane width exclusive RT:

Parking (PKG locations)

Bus stop

Peds.

Island (physical or painted)

Case Left Turn WB:

Case Right Turn WB:

**IDENTIFY IN DIAGRAM:**

1. Volumes.
2. Lanes, lane widths.
3. Movements by line.
4. Parking (PKG) locations.
5. Bay storage lengths.
6. Island (physical or painted).
7. Bus stops.

**Lane Group Possibilities EB**

Direction EB

Lanes TH:

Lane width exclusive LT:

Lane width TH:

Lane width exclusive RT:

Parking (PKG locations)

Bus stop

Peds.

Island (physical or painted)

Case Left Turn EB:

Case Right Turn EB:

**EB TOTAL**

**NB TOTAL**

**Lane Group Possibilities NB**

Direction NB

Lanes TH:

Lane width exclusive LT:

Lane width TH:

Lane width exclusive RT:

Parking (PKG locations)

Bus stop

Peds.

Island (physical or painted)

Case Left Turn NB:

Case Right Turn NB:

Write down the widths of the lanes in meters.  
Equivalent number of through cars for each heavy vehicle:

**Figura 3.2.** Introducción de volúmenes de tráfico y características geométricas de la intersección. Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 3.2., para mayor comprensión para el usuario, se presenta una tabla donde se resumen los datos señalados en el registro anterior y además se solicitan mas datos geométricos de la intersección.

- Pendiente de la superficie de rodamiento
- Porcentaje de vehículos pesados
- Factor de hora de máxima demanda
- Tipo de arribo de los vehículos en la intersección

Traffic and Roadway Conditions											
	Approach	Grade (%)	% HV	Adj. Pkg. Lane (Y or N)	Adj. Pkg. Lane (Nm)	Buses (NB)	PHF	Conf. Peds. (peds./hr)	Ped. Button (Y or N)	Ped. Button (Min. Tim)	Arr. Type
>	EB								<input type="checkbox"/>	0	
	WB								<input type="checkbox"/>	0	
	NB								<input type="checkbox"/>	0	
	SB								<input type="checkbox"/>	0	

Grade: + up, - down  
 HV: veh. With more than 4 wheels  
 Nm: pkg. Maneuvers/hr

NB: buses stopping/hr  
 Conf. Peds: Conflicting peds./hr  
 PHF: peak-hour factor

Min. Tim.: min. green for pedestrian crossing.  
 Arr. Type: Type 1-6

**Figura 3.3.** Datos geométricos complementarios y características del tránsito en la intersección. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con lo señalado en el diagrama de flujo, se introducen los datos de la fase semafórica de la intersección, en la cual se deben incluir:

- Si en la fase existen movimientos permitidos, protegidos o si existe algún semáforo peatonal.
- En cada fase incluir el tiempo de luz verde, luz ámbar y luz roja del semáforo utilizando los segundos como unidad de medida
- Si existe la fase de todo en rojo, señalar el tiempo en segundos
- Señalar si la fase es predeterminada ó actuada, según el tipo de sistema semafórico que se observe en campo.

Phasing

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
EB	EB	EB	EB	EB	EB	EB	EB
WB	WB	WB	WB	WB	WB	WB	WB
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB	SB

Timing	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
Timing G:	0	0	0	0	0	0	0	0
Timing Y:	0	0	0	0	0	0	0	0
Timing R:	0	0	0	0	0	0	0	0
Cycle:	0	0	0	0	0	0	0	0

Write down the data of the traffic light phases in seconds.

Phase time all in red (sec.): 0

Protected Turns:       Permitted Turns:       Pedestrian:

Cycle Length (sec):

Phasing:  Pretimed       Actuated

**Figura 3.4.** Introducción de datos de las fases semafóricas observadas en campo. Fuente: Elaboración propia.

Con los datos anteriores, se tiene lo necesario para iniciar con el proceso de cálculo del nivel de servicio, con ello podemos decir que hasta esta parte es la introducción de datos.

Para el proceso de cálculo será necesario apoyarse de unas tablas que facilitarán el entendimiento y desarrollo de los resultados. Tomando en cuenta el proceso original del método del HCM, se realiza el cálculo del volumen vehicular ajustado.

En esta fase del proceso se divide por sentido de la intersección los tres tipos de movimientos que existen en cada sentido, y se ajusta el volumen vehicular de cada movimiento considerando el factor de hora pico ó factor de hora de máxima demanda. Posteriormente se ajusta el volumen vehicular para cada grupo de carriles, multiplicando el resultado obtenido por el número de carriles y por el factor de utilización. Por último, se

determinan los factores de proporción debido a los movimientos a la derecha y a la izquierda.

VOLUME ADJUSTMENT WORKSHEET											
	Appr./Mvt.	Mvt. Volume (vph)	Peak Hour Factor PHF	Flow Rate vp (vph)	Lane Group	Flow Rate in Lane Group vg (vph)	Number of Lanes N	Lane Utilization Factor U Table	Adj. Flow v (vph)	Prop of LT	Prop. of RT
▶	EB/LT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	EB/TH	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	EB/RT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	WB/LT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	WB/TH	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	WB/RT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	NB/LT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	NB/TH	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	NB/RT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	SB/LT	0	0	0		0		0.00	0		0.00
	SB/TH	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	SB/RT	0	0	0		0		0.00	0		0.00

**Figura 3.5.** Sección de cálculo de volumen vehicular ajustado. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con el proceso, mediante una tabla se realiza el cálculo del flujo de saturación ajustado. Considerando el valor de flujo de saturación ideal, se lleva a cabo el ajuste mediante la multiplicación de este valor con los diferentes factores que merman la eficiencia del flujo vehicular de la intersección.

- Factor de ancho de carril
- Factor por vehículos pesados
- Factor por pendiente de la intersección
- Factor por autos estacionados
- Factor por parada de Autobuses
- Factor por tipo de área
- Factor por movimientos a la derecha
- Factor por movimientos a la izquierda

En la determinación del factor por ancho de carril, en el nuevo proceso, se calcula el factor por efecto de IRI, donde se aplica lo mencionado en el

capítulo anterior, basándose en la publicación técnica 262 por el IMT y aplicado al método del HCM.

SATURATION FLOW ADJUSTMENT WORKSHEET

	Appr.	Lane Group Movements	Ideal Sat. Flow (pc/hgpl)	No. Of Lanes (N)	Lane Width (ft)	Heavy Veh. (H/V)	Grade (g)	Pkg. (p)	Bus Blockage (b)	Area Type (a)	Right Turn (RT)	Left
▶	EB	LT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	EB	TH	1,800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	EB	RT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	WB	LT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	WB	TH	1,800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	WB	RT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	NB	LT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	NB	TH	1,800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	NB	RT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	SB	LT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
	SB	TH	1,800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
*	SB	RT	1,800		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		

**Figura 3.6.** Sección de cálculo del flujo de saturación ajustado. Fuente: Elaboración propia.

Para los casos especiales donde se requiera un análisis para la determinación del “Factor por movimientos a la izquierda”, se elabora una hoja de trabajo para los cálculos correspondientes.

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR LEFT - TURN ADJUSTMENT FACTOR, fLT

Input Variables/Computations	EB	WB	NB	SB
▶ Cycle Leng. C (sec)	0	0	0	0
Effective Green, g (sec)	0	0	0	0
Number of Lane, N	0	0	0	0
Total Approach Flow Rate, Va (vph)	0	0	0	0
Mainline Flow Rate, VM (vph)	0	0	0	0
Left-Turn Flow Rate, VLT (vph)	0	0	0	0
Proportion of LT, PLT	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Opposing Lanes, No	0	0	0	0
Opposing Flow Rate, Vo (vph)	0	0	0	0
Prop. of LT in Opp., PLTO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sop	0	0	0	0
Yo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
gu	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
fs	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PL	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ga	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PT	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
gf	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EL	1.2857	1.2857	1.2857	1.2857
fm	NaN	NaN	NaN	NaN
fLT	NaN	NaN	NaN	NaN

**Figura 3.7.** Sección de cálculo para casos especiales de vuelta a la izquierda. Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente modulo, de igual forma mediante una tabla, se realiza el análisis de la capacidad de la intersección, donde se determina la porción de verde en el ciclo semafórico para cada movimiento y por cada sentido de la intersección. El valor del flujo de saturación ajustado se multiplica por el porcentaje de verde obtenido en el paso anterior, y por último se determina la relación entre la tasa de flujo ajustado entre la capacidad del grupo de carriles para determinar el grupo de carriles críticos para cada sentido de la intersección.

Appr.	Lane Group Movements	Adj. Flow Rate v (vph)	Adj. Sat. Flow Rate s (vphg)	Flow Ratio v/s	Green Ratio g/C	Lane Group Capacity c (vph)	v/c Ratio X	Critical Lane Group
▶	EB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	EB TH	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	EB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	WB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	WB TH	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	WB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	NB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	NB TH	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	NB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	SB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
	SB TH	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	
★	SB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	

**Figura 3.8.** Sección de cálculo para el análisis de la capacidad de la intersección. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se establece el módulo para la determinación del nivel de servicio de la intersección. En esta tabla se realizan los cálculos para determinar las demoras en cada sentido y grupo de carriles de la intersección. Se determina el promedio de demoras y por último el nivel de servicio de cada sentido. Desde el punto de vista técnico en este paso se determina realmente el nivel de servicio de la intersección. El método del HCM propone promediar todas las demoras y determinar un nivel de servicio para toda la intersección. Sin embargo, esto puede sobre valorar la calificación de una intersección arrojando resultados alentadores, pero que en realidad no coherentes con la realidad. Por esta razón el programa

toma el caso más desfavorable y lo toma como el nivel de servicio de toda la intersección, siguiendo las recomendaciones de Stefanoni (2024).

LEVEL OF SERVICE WORKSHEET												
	Appr.	Lane Group Movements	v/c Ratio X	Green Ratio g/C	Cycle Length C (sec)	Delay d1 (sec/veh)	Lane Group Capacity c (vph)	Delay d2 (sec/veh)	Progression Factor PF	Lane Group Delay (sec/veh)	Lane Group LOS	Appr.
▶		EB LT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		EB TH	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		EB RT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		WB LT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		WB TH	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		WB RT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		NB LT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		NB TH	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		NB RT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		SB LT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
		SB TH	0	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
*		SB RT	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	

**Figura 3.9.** Sección de cálculo para el análisis del nivel de servicio de la intersección. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta una sección donde se expone el resultado del análisis de manera breve y se describe el significado del resultado para la interpretación de resultados y la propuesta de mejoras.

Level Of Service

Intersection Delay: NaN sec. Level Of Service (LOS): **No Lane**

Additional Information

Cycle Length, C: 0 sec.

Lost Time Per Cycle, L: 0 sec.

Xc: NaN

Write your comment:

**Return**

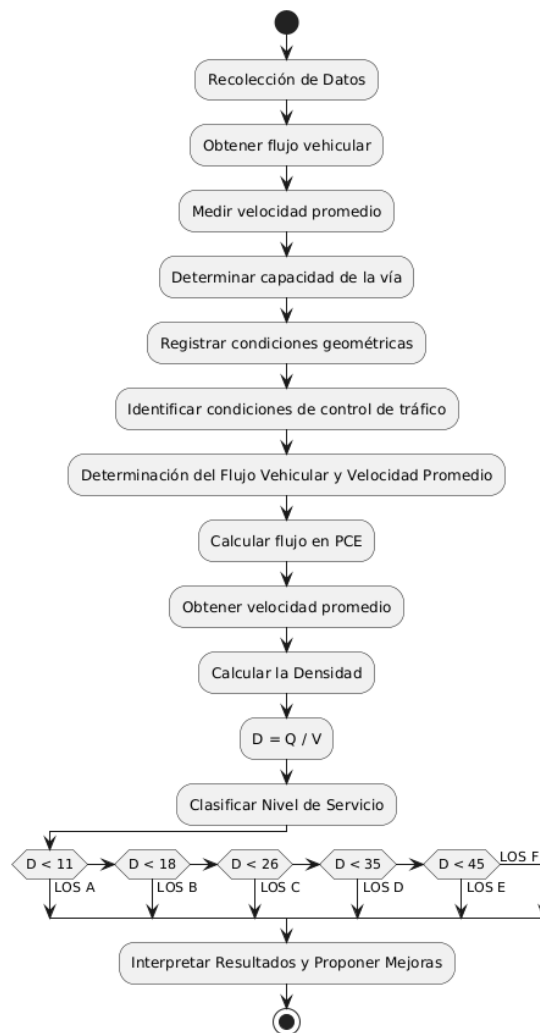
**Figura 3.10.** Sección de resumen del nivel de servicio de la intersección. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección se le brinda al usuario la oportunidad de realizar ajustes en la introducción de datos para poder realizar las iteraciones que considere pertinentes para mejorar el nivel de servicio de la intersección, tales como: mejorar las fases semafóricas, proponer la mejora en la

superficie de rodamiento, cambiar la sección de la intersección, anchos de carril, etc.

### 3.4 Programación de Arterias Urbanas

Para la programación en visual Basic del nivel de servicio de arterias urbanas, se realiza en primer lugar el diagrama de flujo del proceso de cálculo.



**Figura 3.11.** Diagrama de flujo para la determinación del nivel de servicio en arterias viales. Fuente: (ChatGPT, 2025) y (PlantUML, 2025)

Se inicia con la recolección de datos generales del proyecto, incluyendo datos como:

- Nombre de la arteria por analizar
- Nombre de archivo o número de caso
- Nombre del analista
- Fecha del análisis
- Flujo de saturación ideal
- Número de segmentos que integran la arteria vial



The image shows a web form titled "General Data". It contains several input fields and a button. The fields are: "Arterial:" (text input), "Date:" (dropdown menu showing "viernes . 14 de febrero de 2025"), "File or Case No.:" (text input), "Prepared by:" (text input), "Ideal Sat. Flow (Veh./hr.):" (text input with value "1800"), and "Number of segments:" (text input with value "15"). There is a "Start" button next to the "Number of segments" field.

**Figura 3.12.** Recolección de datos generales. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente mediante el apoyo de una tabla, se realiza la recolección de los datos necesarios para el cálculo del nivel de servicio de arterias viales. En esta tabla se anotan datos como:

- Duración del ciclo
- Relación de duración de fase en verde con respecto al ciclo completo
- Relación de la tasa de flujo ajustada entre la capacidad del grupo de carriles
- Tipo de semáforo (Predeterminado o Actuado)
- Tipo de arribo vehicular
- Distancia del segmento
- Clase de arteria (Clase 1, Clase 2 o Clase 3)
- Velocidad a flujo libre
- Clasificación de secciones
- Otro tipo de demora (seg.)

Arterial summary of intersection delay estimates

	Segment	Cycle Length (C)	g/C	v/c Ratio X	Traffic Light (Type)	Arrival Type	Length (Km)	Arterial Class
▶	1				P	▼		
	2				P	▼		
	3				P	▼		
	4				P	▼		
	5				P	▼		
	6				P	▼		
	7				P	▼		
	8				P	▼		
	9				P	▼		
	10				P	▼		
	11				P	▼		
	12				P	▼		
	13				P	▼		
	14				P	▼		
*	15				P	▼		

**Figura 3.13.** Recolección de datos de la arteria vial por analizar. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se inicia con el proceso de cálculo para la determinación de las demoras en cada segmento de la arteria vial. En este proceso se realiza el cálculo de la capacidad del grupo de carriles en movimiento de frente, se determina el factor de progresión, se ajustan las demoras para cada segmento de la arteria vial.

Arterial Summary Of Intersection Delay

	Segment	Cycle Length (C)	g/c	v/c Ratio X	Lane Group Capacity c	Initial Stopped Delay (sec)	Traffic light (Type)	Arrival Type	Progression factor PF	Adjusted Stopped Delay	Intersection LOS	Adjusted Approach Delay
	1	70	0.6	0.583	1049	7.16	P	5	0.53	3.79	A	4.93
	2	70	0.6	0.611	1100	7.45	P	5	0.53	3.95	A	5.14
	3	70	0.6	0.611	1100	7.45	P	5	0.53	3.95	A	5.14
	4	70	0.6	0.611	1100	7.45	P	5	0.53	3.95	A	5.14
	5	70	0.6	0.597	1075	7.3	P	5	0.53	3.87	A	5.03
	6	70	0.6	0.593	1067	7.26	P	5	0.53	3.85	A	5
**	7	70	0.6	0.593	1067	7.26	P	5	0.53	3.85	A	5

**Figura 3.13.** Proceso de cálculo para las demoras de cada segmento. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se realiza el cálculo del nivel de servicio de cada segmento de la arteria mediante la determinación de la velocidad arterial. En este paso se realiza el cálculo del tiempo de recorrido de cada segmento utilizando como referencia la velocidad a flujo libre, además se determina el tiempo de demora debido a las intersecciones semaforizadas para cada segmento, y por último, con el tiempo estimado y la longitud de cada segmento se realiza el cálculo de la velocidad arterial para definir el nivel de servicio de cada segmento.

Computation Of Arterial Level Of Service Worksheet

Segment	Length (Km)	Arterial Class	Free Flow (Km/hr)	Section	Running Time (sec)	Intersection Approach Delay	Other Delay (sec)	Sum Time	Sum of Time by Section	Sum of Length by Section	Arterial SPD (Km/hr)	A	b
▶ 1	0.32	1	60	1	23.87	4.93	0	28.8	28.8	0.32	40		
2	0.32	1	60	2	23.87	5.14	0	29.01	29.01	0.32	40		
3	0.48	1	60	3	31.61	5.14	0	36.75	36.75	0.48	47		
4	0.48	1	60	4	31.61	5.14	0	36.75	36.75	0.48	47		
5	0.48	1	60	5	31.61	5.03	0	36.64	36.64	0.48	47		
6	0.64	1	60	6	39.04	5	0	44.04	44.04	0.64	52		
* 7	0.64	1	60	7	39.04	5	0	44.04	44.04	0.64	52		

**Figura 3.14.** Proceso de cálculo para determinar el nivel de servicio por segmento de la arteria vial en estudio. Fuente: Elaboración propia.

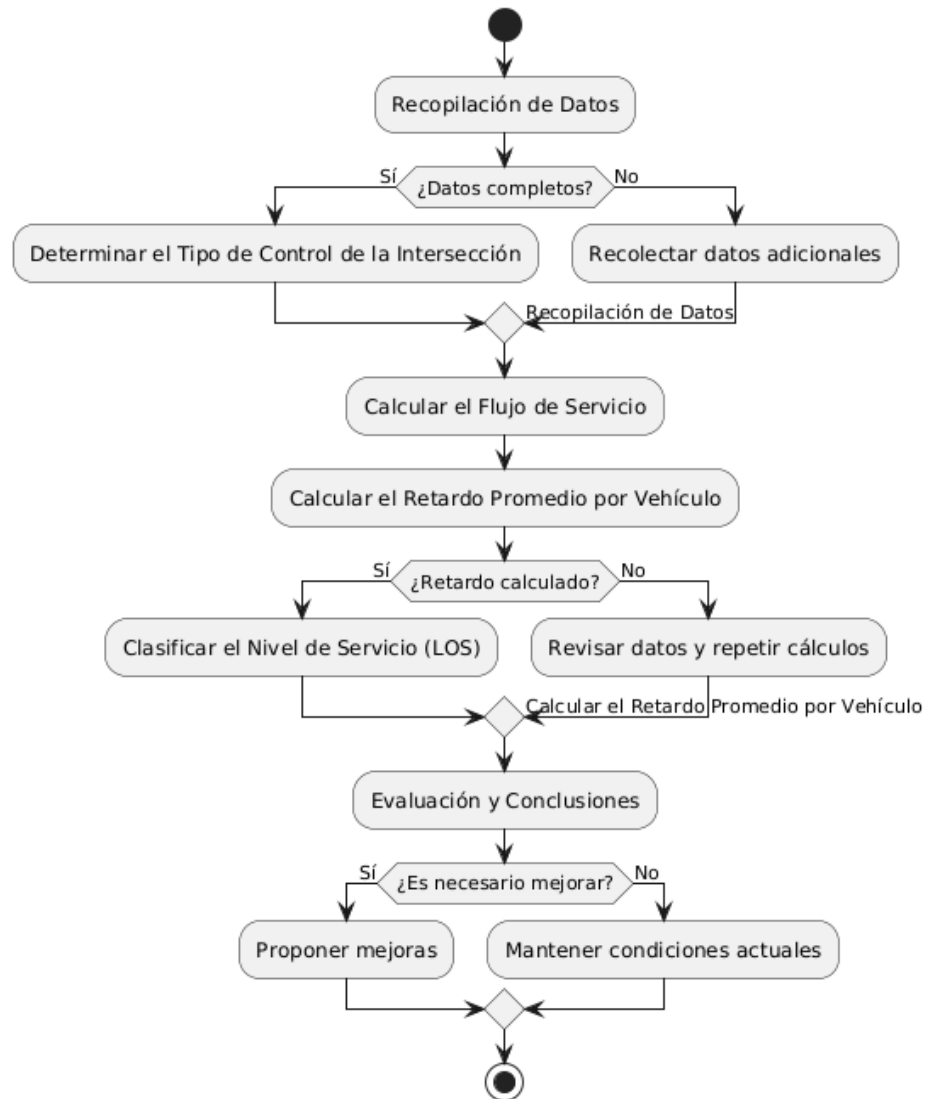
Una vez que se ha determinado el nivel de servicio de cada segmento, se procede a promediar los resultados a fin de definir el nivel de servicio de toda la arteria. Por último se establece una descripción en relación al nivel de servicio calculado con la finalidad de que el analista comprenda el estatus actual y le permita emitir decisiones al respecto.

LOS Arterial		LOS Arterial:	B	Presenta una circulación con un nivel aceptable de impedimentos, velocidad media de recorrido generalmente al 70% de la velocidad en régimen libre, la capacidad para maniobrar se ve ligeramente restringida. Los conductores no se ven sometidos a una tensión apreciable.
Grand Sum of Time:	256.03 sec.			
Grand Sum of Length:	3.36 Km			
SPD ART:	47 Km/hr.			

**Figura 3.15.** Resumen de resultados para la arteria vial analizada. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Programación de Intersecciones no semaforizadas

Como se ha hecho con los procesos anteriores, en primer término es necesario realizar el diagrama de flujo correspondiente al proceso de cálculo para determinar el nivel de servicio de intersecciones viales no semaforizadas.



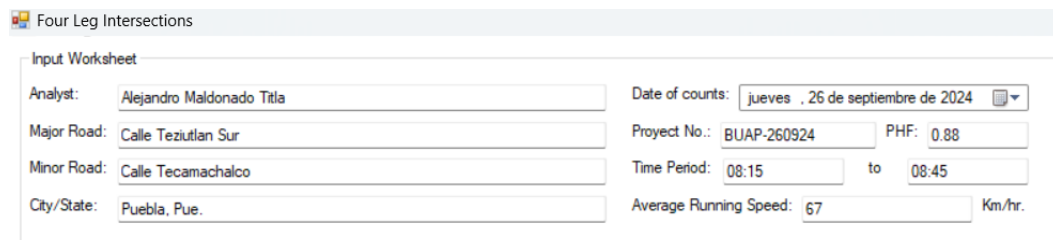
**Figura 3.16.** Diagrama de flujo para la determinación del nivel de servicio en intersecciones viales no semaforizadas. Fuente: (ChatGPT, 2025) y (PlantUML, 2025)

Las intersecciones no semaforizadas se dividen en dos tipos: las intersecciones en “cruz” y en “T”, a continuación, se expondrán estos dos tipos de intersecciones de manera separada.

### 3.6 Programación de Intersecciones no semaforizadas en “Cruz”

Tomando como referencia el diagrama de flujo expuesto en la figura 3.16, se inicia con la recopilación de datos básicos los cuales incluyen:

- Nombre del analista
- Nombre de la calle principal
- Nombre de la calle secundaria
- Ciudad y Estado
- Fecha del análisis
- Número de proyecto
- Factor de hora pico o de máxima demanda
- Intervalo de tiempo donde se registra la máxima demanda
- Velocidad promedio



Input Worksheet					
Analyst:	Alejandro Maldonado Titla	Date of counts:	jueves, 26 de septiembre de 2024		
Major Road:	Calle Teziutlan Sur	Project No.:	BUAP-260924	PHF:	0.88
Minor Road:	Calle Tecamachalco	Time Period:	08:15	to	08:45
City/State:	Puebla, Pue.	Average Running Speed:	67	Km/hr.	

**Figura 3.17.** Sección de datos generales. Fuente: Elaboración propia.

Continuando con la recopilación de datos, en la siguiente sección se anotan datos en relación con los volúmenes de tránsito tales como:

Volumen de tránsito en la hora de máxima demanda por movimiento en cada sentido de la intersección.

- Pendiente de la intersección
- Número de carriles
- Opción si existe señalamiento de

- “Alto”, o
- “no”
- Opción en el caso de que la composición vehicular sea
- Conocida, o
- No conocida
- Botón de cálculo de volumen vehicular ajustado

Hourly Volumes

**HOURLY VOLUMES**

STOP  
 YIELD

Grade (%): 2  
 198 V12   34 V11   17 V10   N: 2

V6 64  
 V5 152  
 V4 61  
 Grade (%): 0  
 N: 2

N: 2  
 Grade (%): 0  
 98 V1  
 183 V2  
 30 V3

Major Road: Calle Tezuitlan Sur

The composition of the traffic is not known  
 The composition of the traffic is known

Minor Road: Calle Tecamachalco  
 N: 2   30 V7   64 V8   15 V9  
 Grade (%): -2

**Calculate Volume Adjustment**

**Figura 3.18.** Sección de recopilación de datos de tránsito y geometría de la intersección. Fuente: Elaboración propia.

El primer cálculo que se realiza es para determinar el volumen vehicular ajustado, para ello mediante una tabla se presenta de manera resumida el resultado del ajuste, mostrando además los diferentes factores obtenidos según la opción elegida, si la composición vehicular es conocida o no.

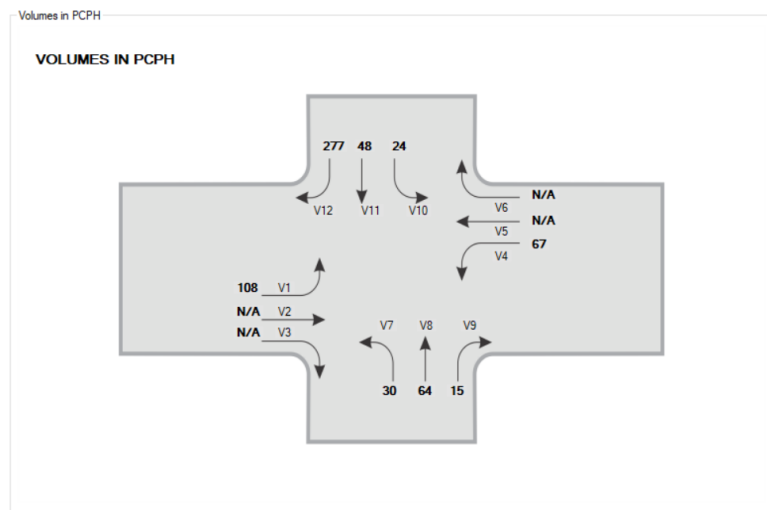
Volume Adjustments												
Movement No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
▶ Volume (vph)	98	183	30	61	152	64	30	64	15	17	34	198
* Vol. (pcph)	108			67			30	64	15	24	48	277

	Movement V1, V2 and V3	Movement V4, V5 and V6	Movement V7, V8 and V9	Movement V10, V11 and V12
Factor for mixed vehicles:	1.10	1.10	1.00	1.40
Motorcycle factor:				
Factor for light vehicles:				
Factor for Trucks without trailer:				
Factor for Trucks with Trailer:				

**Figura 3.19.** Cálculo de ajuste de volúmenes de tránsito, según la composición vehicular. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente mediante un esquema representativo se exponen los volúmenes de tránsito ajustados obtenidos del apartado anterior. En este esquema se visualizan los volúmenes de tránsito por cada grupo de movimientos, con la finalidad de que al usuario se le permita visualizar con mayor claridad los resultados obtenidos en el ajuste de volúmenes para continuar con el cálculo de nivel de servicio.



**Figura 3.20.** Esquema de volúmenes de tránsito ajustado. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se llevan a cabo los cálculos para la determinación del nivel de servicio, estos cálculos para fines prácticos se dividen en cuatro pasos, según lo señalado en el manual del HCM. Mediante la ayuda de una tabla se exponen los resultados para cada movimiento crítico y con ello se determina el nivel de servicio de la intersección no semaforizada en “cruz”, como se muestra en la figura 3.21.

Para la determinación del nivel de servicio, como en el caso de las intersecciones semaforizadas, se recomienda tomar el nivel crítico más desfavorable, ya que este nos permite valorar la calificación de la intersección en estudio con mayor objetividad (Stefanoni Minutti, 2023).

Para comodidad al usuario se expone además en una ventana, el resumen de resultados incluyendo la descripción de la calificación obtenida en el nivel de servicio, figura 3.22.

The screenshot shows a software window titled "Unsignalized Intersections" with the following content:

**STEP 1: RT From Minor Street**

	V9	V12
Conflicting Flows, Vc (vph):	198	184
Critical Gap, Tc (Tab 10-2):	5.98	5.98
Potential Capacity, Cp (Fig 10-3):	797	810
Percent of Cp utilized:	1.88	34.20
Impedance Factor, P (Fig 10-5):	0.99	0.74
Actual Capacity, Cm:	797	810

**STEP 2: LT From Major Street**

	V4	V1
Conflicting Flows, Vc (vph):	213	216
Critical Gap, Tc (Tab 10-2):	5.24	5.24
Potential Capacity, Cp (Fig 10-3):	921	918
Percent of Cp utilized:	7.27	11.76
Impedance Factor, P (Fig 10-5):	0.95	0.92
Actual Capacity, Cm:	921	918

**Intersection LOS: D**

La capacidad de reserva mínima en la intersección es de: 100 veh./h/a. En este nivel de servicio, existen largas demoras

**STEP 3: TH From Minor Street**

	V8	V11
Conflicting Flows, Vc (vph):	589	572
Critical Gap, Tc (Tab 10-2):	6.71	6.71
Potential Capacity, Cp (Fig 10-3):	407	417
Percent of Cp utilized:	15.72	11.51
Impedance Factor, P (Fig 10-5):	0.89	0.92
Actual Capacity, Cm:	355	364

**STEP 4: LT From Minor Street**

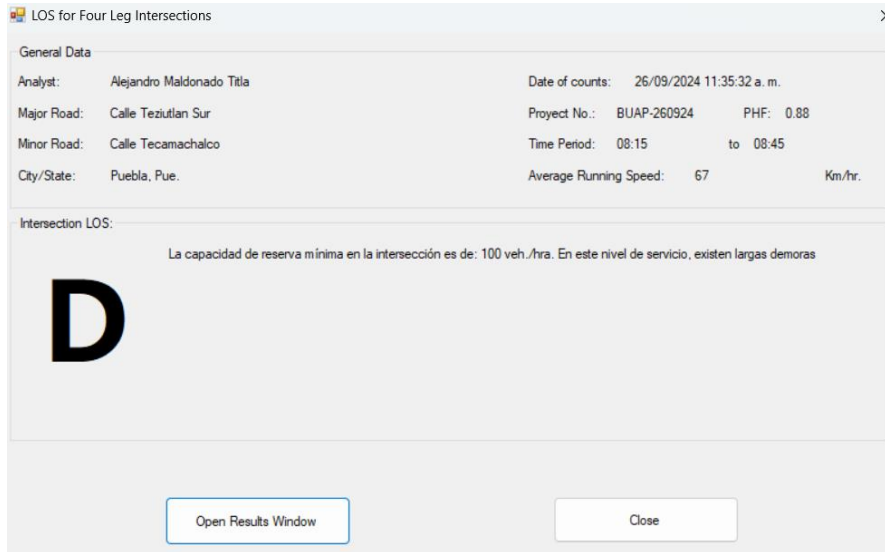
	V7	V10
Conflicting Flows, Vc (vph):	914	651
Critical Gap, Tc (Tab 10-2):	7.21	7.21
Potential Capacity, Cp (Fig 10-3):	220	325
Actual Capacity, Cm:	130	249

**SHARED LANE CAPACITY**

	Movement	v (pcph)	cm (pcph)	CSH (pcph)	CR	LOS
▶	Minor street approach movement: 7	30	130	30	100	D
	Minor street approach movement: 8	64	355	397	318	B
	Minor street approach movement: 9	15	797			
	Minor street approach movement: 10	24	249	24	225	C
	Minor street approach movement: 11	48	364	685	361	B
	Minor street approach movement: 12	277	810			
	Major street left turn: 1	108	918		810	A
★	Major street left turn: 4	67	921		854	A

Buttons: Print Report To Excel, Close

**Figura 3.21.** Ventana de cálculo para determinar el nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas en “cruz”. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.22.** Ventana de resumen de resultados del nivel de servicio obtenido en intersecciones no semaforizadas en “cruz”. Fuente: Elaboración propia.

### 3.7 Programación de Intersecciones no semaforizadas en “T”

Tomando como referencia lo señalado en el diagrama de flujo de la figura 3.16, se realiza la recopilación de los datos generales como se ha realizado en los demás programas. Estos datos incluyen:

- Nombre del analista
- Nombre de la calle principal
- Nombre de la calle secundaria
- Ciudad y estado
- Fecha
- Número de proyecto
- Factor de hora de máxima demanda
- Periodo de tiempo donde se registró el horario de máxima demanda

- Velocidad media

Input Worksheet

Analyst:  Date of counts: martes, 25 de febrero de 2025

Major Street:  Project No.:  PHF:

Minor Street:  Time Period:  to

City/State:  Average Running Speed:  Km/hr.

**Figura 3.23.** Introducción de datos generales. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realiza la introducción de los volúmenes registrados en la hora de máxima demanda para cada movimiento y sentido de la intersección en “T”, en esta sección se indican los siguientes datos:

- Volumen vehicular en el horario de máxima demanda
- Pendiente de la vialidad
- Número de carriles
- Opción sobre la composición del tránsito
  - Cuando la composición del tránsito es conocida
  - Cuando la composición del tránsito es desconocida

Hourly Volumes

**HOURLY VOLUMES**

Major Street: Camino a San Pablo del Monte

Minor Street: Calle 2 Norte

Grade (%) = 0

Composition of the traffic:

The composition of the traffic is not known

The composition of the traffic is known

STOP

YIELD

Calculate Volume Adjustment

**Figura 3.24.** Introducción de datos de volúmenes de tránsito en horario de máxima demanda para intersecciones en “T”. Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa se inicia el primer cálculo donde se determinan los volúmenes de tránsito ajustados y los factores correspondientes según lo propuesto por el método del HCM.

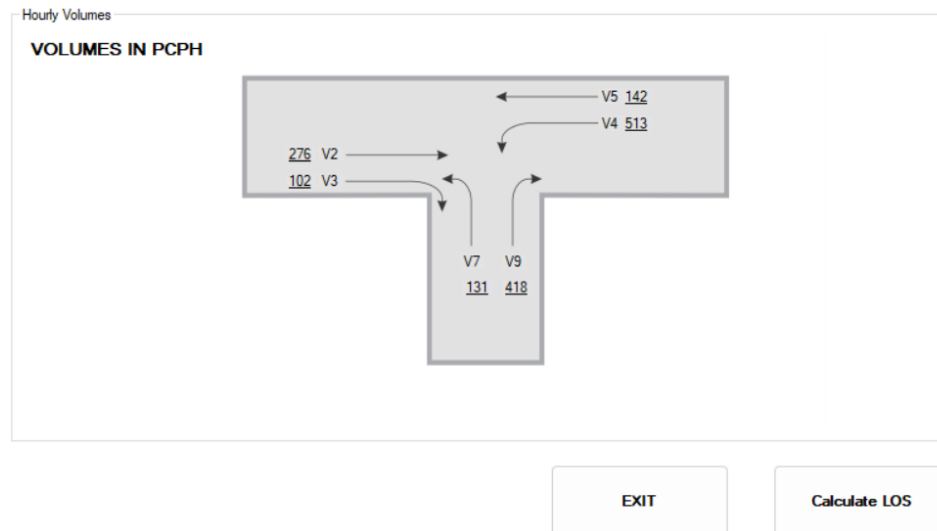
Volume Adjustments

Movement No.:	2	3	4	5	7	9
▶ Volume (vph)	276	102	466	142	119	380
* Vol. (pcph), see Table 10-1			513		131	418

Factor for mixed vehicles: 1.10

**Figura 3.25.** Volúmenes de tránsito ajustados para intersecciones en “T”. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se presenta un reporte, resumiendo los resultados obtenidos anteriormente, y colocando gráficamente los volúmenes según el movimiento y sentido en la intersección en “T”.



**Figura 3.26.** Resumen de resultados para los volúmenes de tránsito ajustados para intersecciones en “T”. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente el programa inicia los cálculos correspondientes para determinar el nivel de servicio de las intersecciones en “T”, aquí se

incluyen los tres pasos señalados por el método del HCM para su determinación. El programa solo imprime el resultado de los cálculos permitiendo visualizar el comportamiento de la intersección, para posteriormente, realizar la calificación para indicar en que nivel de servicio se encuentra la intersección analizada.

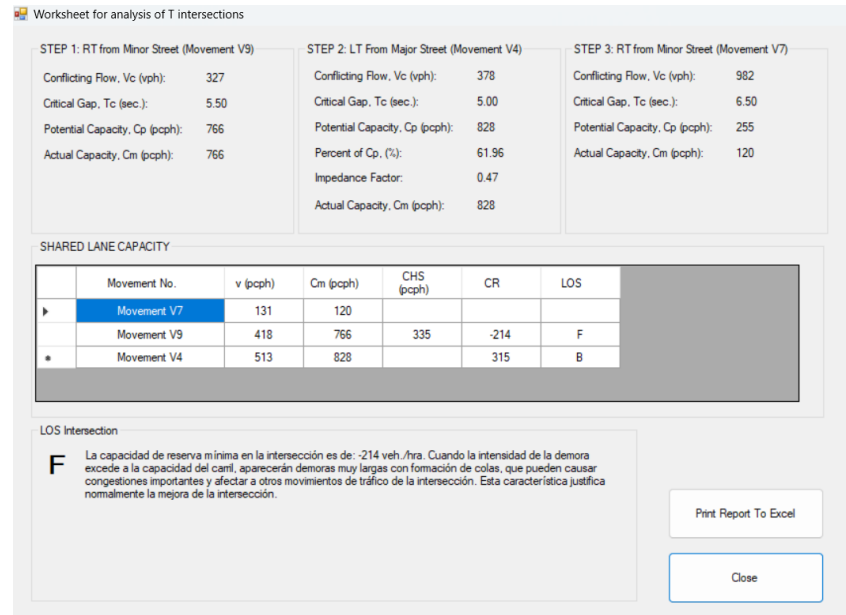
Una vez que se ha determinado el nivel de servicio, el algoritmo del programa busca en su base de datos interna, la descripción que corresponde con las características y problemáticas propias del nivel de servicio obtenido. Se imprime en la pantalla primero un reporte general del nivel de servicio, mostrando los datos generales de la intersección y el nivel de servicio obtenido en el análisis con su descripción correspondiente.



**Figura 3.27.** Reporte de resultados del nivel de servicio obtenido para intersecciones en "T". Fuente: Elaboración propia.

El programa permite mostrar los resultados del cálculo mediante otra ventana, en la que se imprimen los resultados completos incluyendo los resultados de los tres pasos que indica el HCM, añadiendo una tabla donde se analiza el nivel de servicio de cada línea o movimiento crítico

para la intersección en “T” y al final el nivel de servicio con su descripción correspondiente.



**Figura 3.28.** Reporte de resultados completo del nivel de servicio obtenido para intersecciones en “T”. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera el usuario obtiene los resultados del análisis para la determinación del nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en “T”.

### 3.8 Conclusión capitular

En este capítulo se ha descrito de manera general las funciones y operaciones que puede realizar la aplicación “MASTER TRANSIT”, en las cuales se observa que cumple con los requerimientos para realizar el análisis de intersecciones viales semaforizadas y no semaforizadas siguiendo el método del HCM, y que además incluye los efectos del IRI

para la determinación de los niveles de servicio vistos en el Capítulo 2 del presente trabajo de tesis.

Esta aplicación puede ser utilizado para analizar y comparar los niveles de servicio obtenidos con el método del HCM sin considerar el estado físico de la vialidad, contra los resultados obtenidos mediante la consideración de los efectos del IRI, que son motivo de esta investigación, con ello se podrán cuantificar en términos de porcentaje, la importancia de considerar los efectos de IRI o no en el cálculo del nivel de servicio para intersecciones viales.

Lo anterior permitirá a los analistas demostrar, en primera instancia, que el estado del pavimento impacta en el nivel de servicio de las intersecciones y arterias viales, y que además, puede ser uno de los principales problemas a resolver para mejorar el desempeño de la infraestructura vial analizada. En segunda instancia y no menos importante, quedará analizar las condiciones de tránsito y la operación de las arterias e intersecciones viales, tanto para las intersecciones semaforizadas como para las no semaforizadas. Por lo tanto, el análisis del nivel de servicio quedará más completo y nutrido por información que nos acerca aún más a la realidad de las condiciones de operatividad de las intersecciones y arterias viales.

## **CAPITULO 4 Estudio de caso utilizando la aplicación MASTER TRANSIT.**

### **4.1 Introducción**

Una vez que se ha desarrollado la aplicación en el lenguaje de programación de Visual Basic, resta someter a prueba el funcionamiento del programa MASTER TRANSIT. Evaluar sus resultados y definir los puntos que pueden mejorarse para versiones futuras, serán los aspectos que se tocarán en este capítulo, tomando como base un estudio de caso será posible determinar los alcances del programa y definir sus limitantes.

El programa se ha diseñado con base a la metodología del HCM y se han incluido los efectos de IRI y de ancho de carril para el caso de intersecciones semaforizadas y arterias viales. El método propuesto por el HCM no contempla los efectos de la regularidad de la superficie de rodamiento, por lo que con la utilización de la aplicación se pretende visualizar el impacto que tiene el IRI y ancho de carril en la eficiencia de una intersección vial, o en una arteria vial.

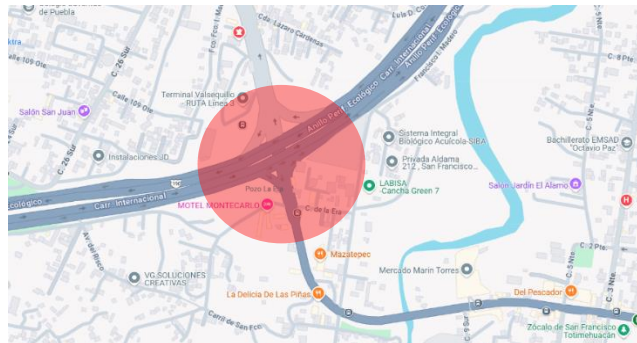
Cuando nos trasladamos en nuestro vehículo a cualquier punto o destino, podemos percibir mediante nuestros sentidos, que el tiempo de traslado es menor cuando nuestro recorrido lo hacemos sobre vialidades con su estructura de pavimento en buenas condiciones y bajo condiciones de tránsito aceptables. Sin embargo, cuando transitamos por vialidades con problemas en su estructura de pavimento, el confort disminuye e instintivamente bajamos la velocidad provocando que el resto de los usuarios, antecesores de nosotros, también disminuyan su velocidad generando colas que pueden provocar congestión vehicular. Por lo tanto,

los efectos de IRI generan un impacto significativo en la eficiencia de la red vial.

A continuación, se desarrollará el análisis de un estudio de caso, sometiendo a varias condiciones de IRI una intersección vial semaforizada y una arteria vial, evaluando sus condiciones de operación para cada caso y desarrollando comparaciones en los tiempos de traslado, anotando las conclusiones más sobresalientes de los resultados obtenidos.

## 4.2 Estudio de caso de una intersección semaforizada

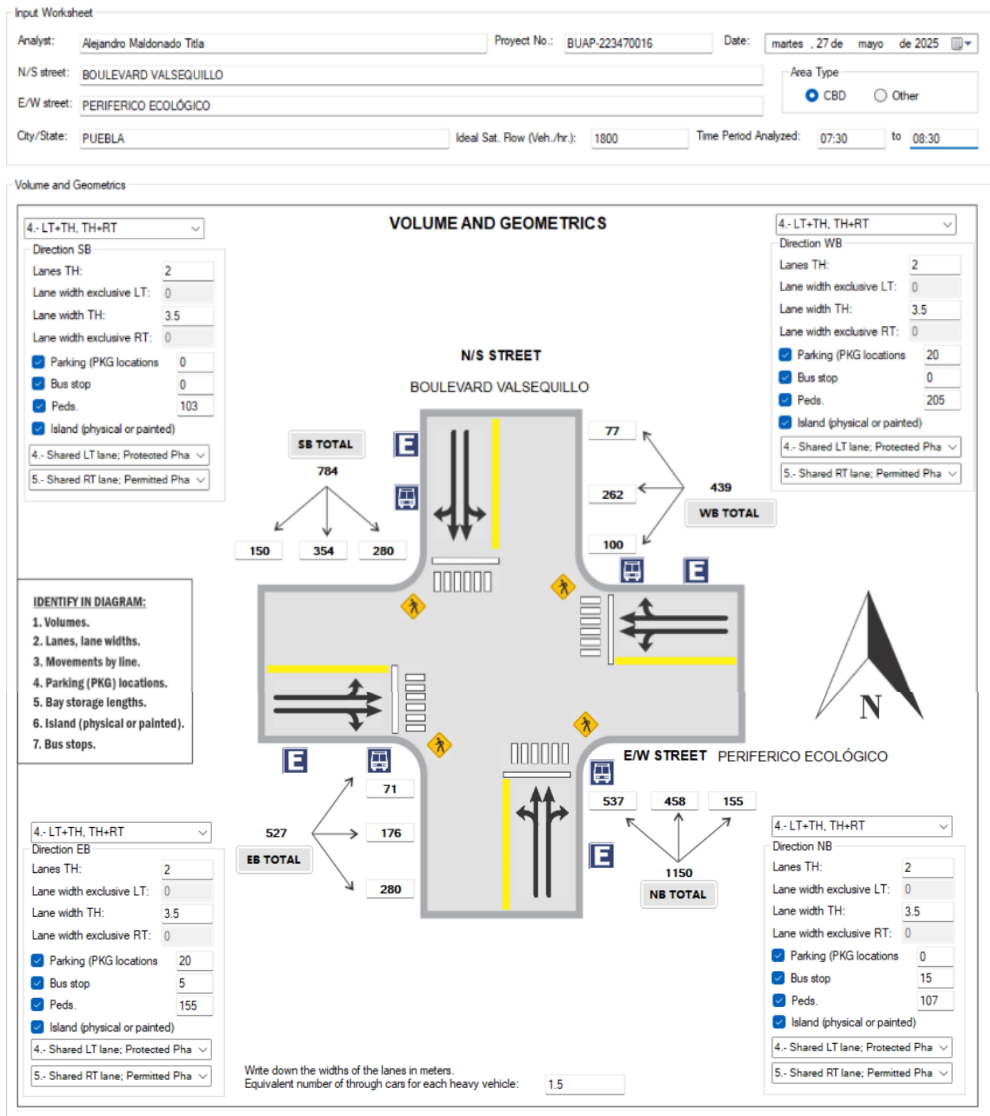
En la ciudad de Puebla se percibe diariamente por los usuarios de la red vial urbana molestias e inconformidad por los tiempos de traslado tan prolongados debido a problemas en la gestión del tránsito en diferentes puntos de la capital y zona conurbada. Tal es el caso de una intersección ubicada al sur de la ciudad de Puebla donde el Boulevard Capitán Carlos Camacho Espíritu entronca con el Anillo Periférico Ecológico. Esta intersección es muy importante para la comunidad de San Francisco Totimehuacán ya que es el único acceso por donde las personas de esta localidad pueden trasladarse a la ciudad de Puebla y a las vías de comunicación importantes como la autopista México – Puebla que conecta con los estados de Veracruz, Tlaxcala y México.



**Figura 4.1.** Ubicación de la intersección en estudio. Fuente (Google Maps, 2025).

Conocer el contexto y el panorama general de la problemática nos puede ayudar a entender con mayor razón el problema de raíz, por ejemplo, para el caso de estudio en cuestión se sabe que recientemente se construyó CU2 que es una extensión de nuestra casa de estudios de la BUAP, y que las instalaciones de este nuevo campus universitario se encuentra delante de la junta auxiliar municipal de San Francisco Totimehuacán, por lo tanto nuestra intersección de análisis es un paso obligado para la comunidad universitaria que se desplaza de los diferentes puntos de la capital, hacia su centro de estudio; además de que si consideramos que la tasa de incremento de la matrícula cada vez crece año con año, podemos advertir empíricamente que la intersección en cuestión no tendrá la capacidad para soportar la demanda de usuarios que deseen pasar por este punto. Actualmente la intersección ya presenta problemas de tránsito, sin embargo, esto tiene que demostrarse mediante la determinación de su nivel de servicio.

En el trabajo de tesis para el grado de maestro en la especialidad de tránsito y transporte de la BUAP, (Flores H., 2025) incluye el estado actual de tránsito mediante un aforo vehicular y levantamiento de las fases semafóricas de la intersección en cuestión. Por lo que los datos obtenidos se anotan en la aplicación MASTER TRANSIT, para verificar el nivel de servicio de esta intersección. A continuación, se presenta el llenado con los datos en el ambiente gráfico de MASTER TRANSIT.



**Figura 4.2.** Llenado de datos generales de la intersección a la interfaz gráfica de MASTER TRANSIT. Fuente: elaboración propia.

Traffic and Roadway Conditions

Approach	Grade (%)	% HV	Adj. Pkg. Lane (Y or N)	Adj. Pkg. Lane (Nm)	Buses (NB)	PHF	Conf. Peds. (peds./hr)	Ped. Button (Y or N)	Ped. Button (Min. Tim)	Arr. Type
EB	-2	6.9	Y	20	5	0.88	155	<input type="checkbox"/>	0	2
WB	2	5.8	Y	20	0	0.82	205	<input type="checkbox"/>	0	2
NB	6	5.9	N	0	15	0.87	107	<input type="checkbox"/>	0	1
SB	-6	6	N	0	0	0.9	103	<input type="checkbox"/>	0	1

Grade: + up, - down  
 HV: veh. With more than 4 wheels  
 Nm: pkg. Maneuvers/hr

NB: buses stopping/hr  
 Conf. Peds: Conflicting peds./hr  
 PHF: peak-hour factor

Min. Tim.: min. green for pedestrian crossing.  
 Arr. Type: Type 1-6

Phasing

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
11- TH + LT + F	EB	17- Pedestrian	EB	EB	EB	EB	18- No Line
11- TH + LT + F	WB	17- Pedestrian	WB	WB	WB	WB	WB
NB	11- TH + LT + F	NB	17- Pedestrian	NB	NB	NB	NB
SB	11- TH + LT + F	SB	17- Pedestrian	SB	18- No Line	SB	SB

Timing	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
Timing G:	52	35	18	18	0	0	0	0
Timing Y:	3	3	0	0	0	0	0	0
Timing R:	65	82	102	102	0	0	0	0
Cycle:	120	120	120	120	0	0	0	0

Write down the data of the traffic light phases in seconds. Phase time all in red (sec): 0

Protected Turns      Permitted Turns      Pedestrian

Cycle Length (sec): 120

Phasing:  Pretimed  Actuated

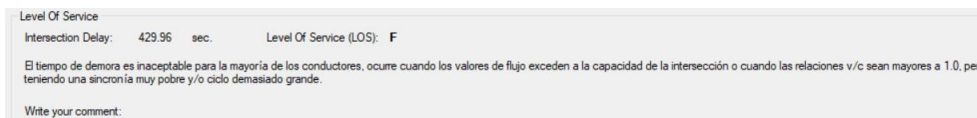
Calculate LOS      EXIT

**Figura 4.3.** Llenado de datos de tránsito y fases semafóricas de la intersección en estudio a la interfaz gráfica de MASTER TRANSIT. Fuente: elaboración propia.

Una vez que los datos de la intersección fueron llenados en la interfaz gráfica de MASTER TRANSIT, se continua con el cálculo del nivel de servicio. Es importante puntualizar que los datos que se obtuvieron en el aforo vehicular de la intersección llaman la atención en sentido NB ya que el parque vehicular en su hora de máxima demanda es de 1,150 vehículos repartidos en sus diferentes grupos de carriles y movimientos, con este dato podemos especular antes de hacer el análisis, que la intersección va

a presentar problemas en este sentido por el alto número de usuarios que transitan y que además es en un horario matutino con sentido a la ciudad de Puebla, por lo que podemos advertir que se debe porque es la hora en la que las personas se trasladan a sus trabajos o escuela y son habitantes de la junta auxiliar de San Francisco Totimehuacán.

Por otra parte, se puede observar que el segundo sentido con mayor número de vehículos es el SB que corresponde a las personas que viajan de la ciudad de Puebla y se dirigen con sentido a CU2. Es importante puntualizar que el primer estudio se realizará sin considerar los efectos de IRI y ancho de carril. A continuación, se presentan los resultados obtenidos por la aplicación MASTER TRANSIT.



**Figura 4.4.** Resultados de la aplicación MASTER TRANSIT sin considerar los efectos de IRI y ancho de carril. Fuente: elaboración propia.

Del resultado obtenido tenemos que el tiempo de demora de la intersección es de cuatrocientos treinta segundos lo que equivale a siete minutos aproximadamente, este tiempo en términos de eficiencia de tránsito es inaceptable, quiere decir que los usuarios experimentan demoras por el alto índice de congestionamiento y colas de vehículos que no logran pasar la fase semafórica en verde. Se aprecia claramente que la fase semafórica en el sentido NB y SB es más corta en tiempo con respecto a la fase semafórica en los sentidos EB Y WB, por lo que probablemente se mejore la circulación si incrementamos el tiempo en verde en el sentido con mayor demanda de la intersección.

A toda esta problemática, aún no hemos considerado los factores de IRI y ancho de carril, por lo que, si agregamos estas condiciones, es probable que nuestra intersección presente problemas aún mayores en comparación con los que ya hemos mencionado. A continuación, se presentan los datos correspondientes a IRI y los resultados obtenidos considerando esta variable.

Properties of the pavement, IRI:

Consider the physical properties of the pavement, IRI:

Yes

No

Ideal speed and IRI by lane group

Appr/Mvt.	IRI	Vo (Km/hr)
EB/LT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
EB/TH	4.5	40
EB/RT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
WB/LT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
WB/TH	2.51	40
WB/RT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
NB/LT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
NB/TH	2.51	40
NB/RT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
SB/LT	<input type="text"/>	<input type="text"/>
SB/TH	2.51	40
SB/RT	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Figura 4.5.** Datos obtenidos en los perfiles topográficos de la intersección.

Fuente: (Flores H., 2025)

Level Of Service

Intersection Delay: 716.44 sec. Level Of Service (LOS): F

El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurre cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean mayores a 1.0, pero teniendo una sincronía muy pobre y/o ciclo demasiado grande.

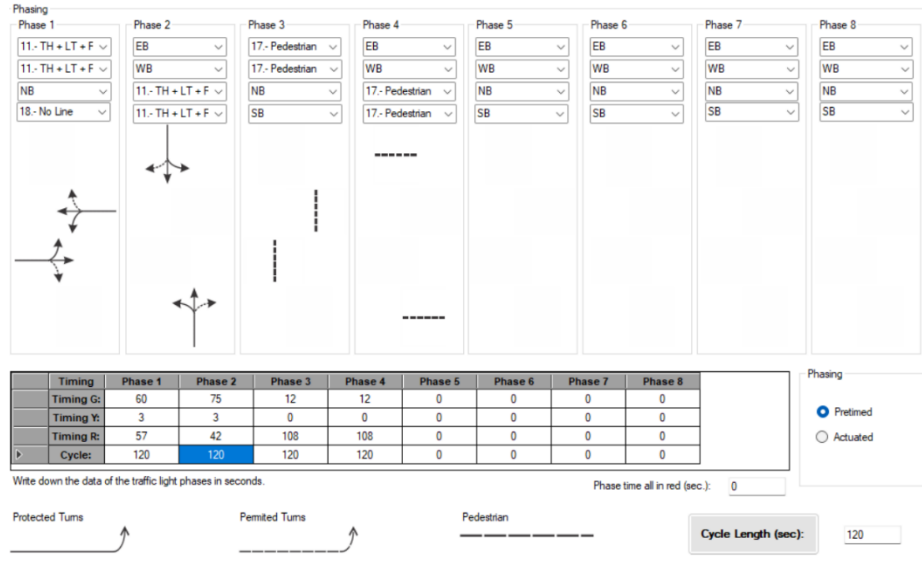
**Figura 4.6.** Resultados obtenidos con la aplicación MASTER TRANSIT, considerando los efectos de IRI y ancho de carril. Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos, se puede observar que al considerar las reducciones de velocidad por los efectos de IRI y ancho de carril, el flujo de saturación es menor ya que las condiciones físicas del pavimento de la

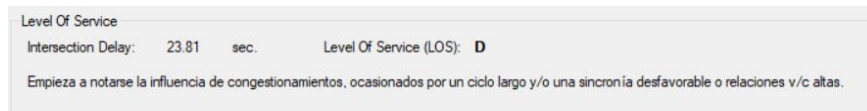
intersección, obliga a los usuarios a reducir la velocidad y sumado a que la intersección presenta problemas de tránsito se confirma que existen problemas de congestión vehicular en la zona de estudio.

Por otra parte, el tiempo de demora de la intersección incrementa a setecientos dieciséis segundos, lo que equivale a casi doce minutos, es decir el tiempo de demora incrementa un sesenta y seis punto sesenta y tres por ciento, más de la mitad del tiempo de demora obtenido en el cálculo sin considerar los efectos de IRI. Con estos resultados podemos decir que los efectos de IRI tienen un gran impacto en la eficiencia de las intersecciones semaforizadas a tal grado que explican con mayor veracidad el estado en el que se encuentra una intersección, mientras que el no considerar los efectos de IRI nos conduce a sobrevalorar la intersección.

Utilizando la aplicación MASTER TRANSIT, es posible iterar posibilidades de solución hasta llegar a la más conveniente posible. En el intento de resolver los problemas de tránsito que tiene la intersección y modificando solo las fases semafóricas se puede lograr mejorar la eficiencia de la intersección, sin embargo, bajo las condiciones de IRI prevalecientes, esta eficiencia en teoría podría llegar a mejorarse aún más. A continuación, se presentan las modificaciones a las fases semafóricas considerando los mismos valores de IRI para el calculo del nivel de servicio.



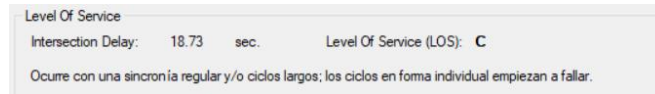
**Figura 4.7.** Modificación a las fases semafóricas considerando las mismas condiciones de IRI para determinar el nivel de servicios de la intersección. Fuente: elaboración propia.



**Figura 4.8.** Resultados del nivel de servicio modificando solo las fases semafóricas y considerando los mismos valores de IRI en la intersección. Fuente: elaboración propia.

El resultado es asombroso, pasar de setecientos dieciséis segundos de demora a solo veinticuatro segundos, modificando las fases semafóricas y manteniendo los valores de IRI, nos conduce a afirmar que las herramientas tecnológicas como MASTER TRANSIT facilitan la toma de decisiones en la gestión del tránsito en una intersección vial semaforizada. Por lo que la teoría planteada en el capítulo dos de la presente tesis, surte efecto en la determinación del impacto que tienen los efectos de IRI. con estos resultados el planificador o especialista en tránsito puede tomar la decisión de ajustar las fases semafóricas como una primera solución a corto plazo, con ello la solución al problema en términos de costo es

insignificante. Por otro lado, para garantizar una mayor eficiencia de la intersección, tal vez en una solución a mediano plazo, se pueda proponer mejorar las condiciones del pavimento mediante la rehabilitación del camino. A continuación, se proponen valores de IRI despreciables de tal forma que se considere el cálculo de la intersección solo con los efectos provocados por el ancho del carril.



**Figura 4.9.** Resultados del nivel de servicio considerando despreciables los efectos de IRI y solo tomando en cuenta los efectos por ancho de carril. Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos se puede observar que, si se mejoran las condiciones del pavimento mediante una rehabilitación, la intersección logra subir del nivel de servicio D al nivel de servicio C, siendo este nivel de servicio aceptable para el tránsito en este punto. Cabe la pena mencionar que las soluciones más económicas a corto y a mediano plazo, son las que se proponen en los párrafos anteriores, sin embargo, el incremento de los usuarios debidos al nacimiento de zonas de generación y atracción de viajes como es el caso de CU2, nos obliga a pensar en otro tipo de alternativas como la construcción de un viaducto o la construcción de un camino alterno que ayude a redistribuir la demanda y equilibrar la red vial de la zona.

### 4.3 Estudio de caso de una arteria vial

Para este estudio de caso se utilizará un ejemplo del manual del HCM de la versión española (Asociación Técnica de Carreteras, 1985). La arteria en estudio está compuesta por siete segmentos y cada segmento es considerado como arteria Clase I, con una velocidad de flujo libre de 60

km/hr. Como se ha visto en el inciso anterior, los efectos de IRI y ancho de carril tienen un gran impacto en las intersecciones viales semaforizadas, para el caso de arterias viales, dado que la velocidad se determina a flujo libre, los efectos de ancho de carril son despreciables quedando solo los efectos debidos a la regularidad de la superficie de rodamiento.

En primera instancia, se anotan en la interfaz gráfica de MASTER TRANSIT los valores del ejemplo del HCM sin considerar los efectos de IRI. A continuación, se muestran los datos recopilados en la aplicación y los resultados que se generan al ejecutar el programa.

General Data

Arterial: Ejemplo Date: miércoles, 28 de mayo de 2025

File or Case No.: BUAP-223470016 Ideal Sat. Flow (Veh./hr.): 1800

Prepared by: ALEJANDRO MALDONADO TITLA Number of segments: 7 Start

Aterial summary of intersection delay estimates

Segment	Cycle Length (C)	g/C	v/c Ratio X	Traffic Light (Type)	Arrival Type	Length (Km)	Arterial Class	Free Flow (Km/hr.)	Section	Other Delay (sec)	IRI
1	70	0.6	0.583	P	5	0.32	1	60	1		
2	70	0.6	0.611	P	5	0.32	1	60	2		
3	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	3		
4	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	4		
5	70	0.6	0.597	P	5	0.48	1	60	5		
6	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	6		
7	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	7		

**Figura 4.10.** Introducción de datos a la interfaz gráfica de MASTER TRANSIT sin considerar los efectos de IRI. Fuente: elaboración propia.

LOS Arterial

Grand Sum of Time: 256.53 sec. LOS Arterial: **B** Presenta una circulación con un nivel aceptable de impedimentos, velocidad media de recorrido generalmente al 70% de la velocidad en régimen libre, la capacidad para maniobrar se ve ligeramente restringida. Los conductores no se ven sometidos a una tensión apreciable.

Grand Sum of Length: 3.36 Km

SPD ART: 47 Km/hr.

**Figura 4.11.** Resultados del análisis del nivel de servicio de la arteria vial sin considerar los efectos de IRI. Fuente: elaboración propia.

Del resultado anterior se puede observar que la arteria tiene una calificación de B la cual es aceptable para la eficiencia de la vialidad, el tiempo de recorrido de la longitud de la arteria que es poco más de tres kilómetros, es de más de cuatro minutos a una velocidad promedio de 47

Km/hr. Esto significa que entre las demoras de cada intersección y pensando que las condiciones del pavimento de la vía son óptimas, la arteria no presenta problemas de congestión o demoras altas.

Sin embargo, a menudo en muchas calles y vialidades de la red vial urbana, presenta daños en la estructura del pavimento, teniendo valores de IRI altos que reducen la velocidad a flujo libre. Tal vez los efectos de ancho de carril sean despreciables para este análisis, sin embargo, en lo que respecta al IRI en la realidad podría resultar muy impactante en la determinación del nivel de servicio. A continuación, se presentan unos valores de IRI para el mismo ejemplo, para determinar qué tan importante es considerar los efectos de IRI en el estudio de las arterias viales.

Arterial summary of intersection delay estimates

Segment	Cycle Length (C)	g/C	v/c Ratio X	Traffic Light (Type)	Arrival Type	Length (Km)	Arterial Class	Free Flow (Km/hr.)	Section	Other Delay (sec)	IRI
1	70	0.6	0.583	P	5	0.32	1	60	1		2.8
2	70	0.6	0.611	P	5	0.32	1	60	2		3.5
3	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	3		3.6
6	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	6		3.85
7	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	7		3.92
5	70	0.6	0.597	P	5	0.48	1	60	5		4.05
4	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	4		4.2

**Figura 4.12.** Introducción de valores de IRI en la interfaz de MASTER TRANSIT para el cálculo de nivel de servicio. Fuente: elaboración propia.

Recordando algunos aspectos del capítulo anterior, la reducción de velocidad por efectos de IRI, para el caso de arterias viales, debe restarse a la velocidad arterial obtenida en el proceso de cálculo para cada segmento de arteria. El resultado de la diferencia de velocidades es la velocidad real con la que los usuarios transitan por la arteria considerando los efectos de IRI. Con estas velocidades calculadas para cada segmento de arteria, es como se determina el nivel de servicio general de toda la arteria, ya que, con los valores de velocidades obtenidos, se puede calcular los tiempos en cada segmento y sumarlos para determinar la velocidad arterial y así clasificar el nivel de servicio.

LOS Arterial		LOS Arterial: <b>C</b>		Circulación estable, sin embargo, la capacidad para maniobrar y cambiar de carril en los tramos centrales de las manzanas puede resultar más restringida que el nivel de servicio B; se nota la existencia de colas largas y una coordinación (sincronía) inadecuada de los semáforos que puede contribuir a disminuir las velocidades medias de recorrido hasta en un 50% de la velocidad en régimen libre. En esta conducción, los usuarios experimentarán una tensión apreciable.
Grand Sum of Time:	299.6 sec.			
Grand Sum of Length:	3.36 Km			
SPD ART:	40 Km/hr.			

**Figura 4.13.** Resultado del análisis de nivel de servicio de una arteria considerando los efectos de IRI. Fuente: elaboración propia.

Del resultado anterior podemos observar que la arteria paso de tener un nivel de servicio B a un nivel de servicio C, por lo que los efectos de IRI no podrían ser despreciables ya que estos efectos para el ejemplo en cuestión hicieron que la arteria pasara de tener una velocidad arterial de cuarenta y siete kilómetros por hora a cuarenta kilómetros por hora, reduciéndose así la velocidad en un quince por ciento. Derivado de lo anterior podemos afirmar que, si no consideramos los efectos de IRI en el cálculo del nivel de servicio, los resultados del estudio estarán sobrevalorados. En este ejemplo en particular se introdujeron valores de IRI relativamente pequeños, por lo que la reducción del nivel de servicio no ha sido muy significativa, sin embargo, pueden presentarse casos en los que el IRI sea mayor y con ello se reduzca aún más el nivel de servicio.

En nuestra capital poblana es muy común observar la presencia de reductores de velocidad, que carecen de una normativa oficial, pero que por los usos y costumbres de nuestra entidad y en general en la mayor parte del territorio mexicano, los utilizamos como dispositivos de control de velocidad en nuestras vías de comunicación, esto sumado a que desafortunadamente no se cuenta con una educación vial por parte de la población, justifica socialmente la construcción o instalación de estos dispositivos. Por lo tanto, valdría la pena analizar el impacto que provoca la instalación de estos dispositivos en la eficiencia de una arteria, de ante mano podríamos concluir que debido a la finalidad con la que son instalados, reduciría la velocidad de circulación de la arteria, incrementando el tiempo de circulación y con ello bajando su nivel de

servicio. Para ejemplificar esta teoría planteada, someteremos a continuación al mismo ejemplo anterior, en el supuesto de que además de los valores de IRI considerados como actuales, existan dos dispositivos de control por cada segmento de arteria, con ello los valores de IRI incrementarían como se muestra a continuación.

Sección	Longitud (Km)	Valores de IRI actuales por cada segmento (m/Km)	Altura del reductor de velocidad (m)	Número de dispositivos por sección	Valores de IRI corregidos (m/Km)
1	0.32	2.80	0.3	2	4.7
2	0.32	3.50	0.3	2	5.4
3	0.48	3.60	0.3	2	4.9
4	0.48	3.85	0.3	2	5.1
5	0.48	3.92	0.3	2	5.2
6	0.64	4.05	0.3	2	5.0
7	0.64	4.20	0.3	2	5.1

**Tabla 4.1.** Valores de IRI corregidos debido a la instalación de un dispositivo de control en cada sección de la arteria, para ejemplificar el impacto de estos dispositivos en la eficiencia de una arteria vial. Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se puede observar que los valores de IRI incrementan considerablemente, pero que para la realidad de muchas calles o avenidas es una condición que prevalece día con día, principalmente por no darles el mantenimiento adecuado y además por la instalación de estos reductores de velocidad que es una condición típica en muchos casos. Introduciendo los valores de IRI corregidos, en la interfaz de MASTER TRANSIT, se procede a realizar el cálculo del nivel de servicio, obteniendo los siguientes resultados.

LOS Arterial		LOS Arterial:	<b>D</b>	En este nivel, cualquier pequeño incremento de flujo puede causar incrementos importantes de la demora en los accesos, y por tanto, disminuye de la velocidad arterial. Se debe generalmente a una muy mala sincronía semafórica, ciclos semafóricos inadecuados, volúmenes vehiculares elevados o combinación de estos tres factores. Las velocidades medias de recorrido se encuentran alrededor del 40% de la velocidad en régimen libre.
Grand Sum of Time:	369.47 sec.			
Grand Sum of Length:	3.36 Km			
SPD ART:	33 Km/hr.			

**Figura 4.14.** Resultado del análisis de nivel de servicio de una arteria considerando los efectos de la instalación de dispositivos de reducción de velocidad. Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos se puede apreciar que el nivel de servicio de la arteria disminuye a un nivel de servicio D, lo que confirma lo que ya se había comentado en párrafos anteriores. Por lo tanto, podemos decir que, para este ejemplo de arteria, pasamos de un nivel de servicio de B a un nivel de servicio C, cuando se consideran los efectos de IRI, y para el caso en el que además se incorporan dispositivos de reducción de velocidad fuera de norma en cada sección de la arteria, su nivel de servicio se reduce aún más a D. Entonces podríamos concluir que los dispositivos de reducción de velocidad, tal vez en algunos casos, sean los responsables de reducir la eficiencia de una arteria vial, provocando incrementos en los tiempos de recorrido y con ello reducción de velocidades arteriales.

#### 4.4 Conclusión capitular

En este capítulo se han planteado problemas que se asemejan a la realidad en la que vivimos cotidianamente en términos de tránsito. Además, se ha comprobado que el desarrollo de aplicaciones como MASTER TRANSIT, facilitan el proceso de cálculo del método del HCM para la determinación de los niveles de servicio tanto de una intersección semaforizada, como para una arteria vial. Por otra parte, se ha comprobado que cuando se realiza un análisis integral considerando los efectos de tránsito como de las condiciones de pavimento por medio del IRI, se obtienen resultados más apegados a la realidad, esto nos permite

visualizar la magnitud del problema y además nos facilita la toma de decisiones.

En el ejemplo de la intersección semaforizada, se pudieron establecer soluciones a corto, mediano y largo plazo, por lo que con ello se logra el objetivo de planificar la gestión del tránsito, permitiendo solucionar el problema, ajustando en primera instancia, las faces semafóricas que sin duda esta solución no requiere de grandes inversiones para el erario y ayudaría a miles de usuarios a transitar de manera más cómoda y eficiente, mejorando sus tiempos de traslado y con ello su calidad de vida. En el caso de las soluciones a mediano y largo plazo, permite a las autoridades planificar los gastos anuales de proyectos, y con ello priorizar los capitales, ejerciendo así la aplicación correcta de los recursos públicos.

Por otra parte, en el ejemplo de la arteria vial, se puede observar la importancia de considerar los efectos de IRI, ya que esta condición es la que ajusta la velocidad arterial, replicando así las condiciones reales de transitabilidad de la arteria, facilitando la evaluación de las características de operación de la vía con mayor certidumbre, permitiendo como en el caso de las intersecciones semaforizadas, la planificación en el corto, mediano y largo plazo; para lo cual, la solución a corto plazo sería por ejemplo la de retirar los reductores de velocidad, para que posteriormente en el mediano o largo plazo se realice la rehabilitación o mantenimiento de la estructura del pavimento.

Este tipo de decisiones planteadas en los párrafos anteriores, resuelven en buena medida las condiciones de tránsito de la red vial urbana, por lo que la importancia de hacer ingeniería de tránsito es fundamental en ciudades como la capital poblana y su zona conurbada. Es necesario que se generen políticas públicas que permitan la normalización y legislación de leyes que incentiven la gestión del tránsito mediante la generación de

un departamento que controle aforos vehiculares mediante la instalación de estaciones maestras y monitoreo vial, y con la ayuda de herramientas como la de MASTER TRANSIT, se solucionen los problemas de tránsito. Estas acciones contribuirían a contar con una red vial eficiente y sostenible como se plantea en el objetivo once de las Naciones Unidas (Ciudades y Comunidades Sostenibles), priorizando acciones para lograr un transporte eficiente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La eficiencia en la red vial urbana es fundamental para el desarrollo económico de una ciudad. La capital poblana requiere de manera urgente que los especialistas en tránsito y transporte sean quienes tomen las decisiones en materia de gestión y control del tránsito, no solo vehicular, sino de todos los modos de transporte usados en la ciudad.

Actualmente se pueden observar síntomas donde la ciudad en varios puntos ya presenta problemas de demoras y congestionamiento vehicular generando el colapso (por así decirlo) de la red vial urbana, es decir, que ya no es capaz de soportar la demanda de usuarios. Esto va en contra con lo planteado en el punto once de la agenda 2030 de las naciones unidas, en donde se menciona que una de las principales tareas donde se tienen que redoblar esfuerzos es en garantizar un transporte eficiente; en este contexto es donde se incluyen las redes viales que deben ser capaces de sostener la demanda de los usuarios de manera eficiente y segura. Para lograr el objetivo once propuesto por las naciones unidas, es necesario iniciar con mejorar la eficiencia de la red vial capitalina y de la zona conurbada mediante la aplicación de aforos y estudios integrales que consideren las condiciones actuales de tránsito y semaforización de todos los cruces, con ello será posible plantear soluciones como las que se mostraron en el capítulo cuatro de este trabajo de tesis, que con acciones como la de ajustar las fases semafóricas, se puede lograr una mayor eficiencia de una intersección reduciendo los tiempos de demora y así aliviar las condiciones de tránsito. Este tipo de soluciones a corto plazo permiten planificar y proyectar a futuro las acciones necesarias requeridas

para evitar problemas de congestionamiento y demoras altas, además de que son propuestas que no generan gastos importantes al erario y que traen grandes beneficios económicos y sociales. Por lo tanto, podemos decir que este tipo de inversiones se justifican socialmente y no son un gasto innecesario o mal aplicado.

Hace algunas décadas atrás, la falta de recursos tecnológicos truncaba los esfuerzos por hacer ingeniería de tránsito. Actualmente existe un sin número de herramientas que nos facilitan los procesos de análisis y manejo de datos. Por lo tanto, MASTER TRANSIT es una herramienta que se suma a la colaboración de redoblar esfuerzos para garantizar vialidades eficientes y permitir a los analistas en la materia resolver problemas de tránsito en las intersecciones y arterias viales.

En los estudios de caso abordados en el capítulo cuatro, se ha demostrado que las vialidades con sus intersecciones tienen que ser analizadas bajo las condiciones más reales posibles, esto implica aplicar los efectos que generan las condiciones de la superficie de rodamiento mediante el índice de regularidad internacional, conocido como IRI por sus siglas en inglés. El método que propone el HCM es sin duda el referente más importante para muchos países del mundo, incluyendo México, sin embargo, no debemos olvidar que la metodología está enfocada para las condiciones y características de los Estados Unidos de Norteamérica, sus políticas públicas, normas y reglamentos. Por lo tanto, es importante que países como el nuestro, inicie por apoyar más a los servicios técnicos de la SICT, al instituto mexicano del transporte (IMT), o mediante la fundación de un comité o departamento que se encargue de los estudios e investigaciones del tránsito para obtener datos e información de referencia que perfilados a nuestras políticas públicas, reglamentos y normas y adaptados al método del HCM, se puedan aplicar para determinar el nivel de servicio de las intersecciones y vialidades de nuestro territorio nacional, obteniendo con ello resultados más certeros a nuestro entorno.

El considerar los efectos de IRI en la determinación de los niveles de servicio mediante la aplicación de MASTER TRANSIT, ha demostrado que las condiciones de IRI no pueden despreciarse, ya que aplicando el método del HCM como se plantea originalmente, se sobrevalora el resultado obtenido, por lo que podríamos pensar que la intersección o arteria vial tiene un nivel de servicio B cuando en la realidad funciona con un nivel de servicio C o D.

Esta modificación al método permite replicar en el análisis, las condiciones prevalecientes de la realidad, además de que modificar el factor de ancho de carril incluyendo además las condiciones de IRI, nos obligó a partir del razonamiento del concepto de *flujo de saturación*, que, a nuestro juicio, tiene un impacto importante debido a las condiciones físicas de la infraestructura vial, ya que a mayores valores de IRI, menor es la velocidad de circulación de los usuarios.

Mediante la publicación del IMT (IMT, 2004), donde se presenta un estudio de las reducciones de velocidad provocadas por los efectos de IRI en carreteras federales, se han determinado los valores de reducción de velocidad para diferentes anchos de carril, con los que fue posible la determinación del factor de IRI y ancho de carril. Este tipo de publicaciones han contribuido en gran medida a la innovación, no obstante, hacen falta más trabajos de esta índole para mejorar los métodos que ya se conocen, como es el caso del HCM.

Por otra parte, la aplicación MASTER TRANSIT en su primera versión de carácter académico, ha cumplido las expectativas, ya que además de contar con un ambiente gráfico muy accesible, es fácil de operar, ya que cuenta en su interfaz, el diseño de las hojas de trabajo que ofrece el HCM, por lo que la introducción de datos es fácil de comprender y la interpretación de resultados se basa en lo planteado por el método original del HCM.

MASTER TRANSIT se suma a la lista de herramientas tecnológicas que facilitan el proceso de cálculo para la determinación de los niveles de servicio de las intersecciones y arterias viales, teniendo como peculiar característica, a diferencia de otras herramientas, el que considera los efectos de IRI. Esta aplicación puede servir de complemento para otro tipo de herramientas más sofisticadas, como TransCad, permitiendo la introducción de datos más certeros para analizar toda la red vial de una ciudad.

Para concluir, podemos afirmar que las herramientas tecnológicas diseñadas para resolver problemas de tránsito, como MASTER TRANSIT, y la mejora de los métodos como el del HCM, optimizan los resultados en la determinación del nivel de servicio de las arterias e intersecciones viales semaforizadas.

## 5.2 Recomendaciones

Las modificaciones al método del HCM se realizaron considerando los estudios por parte del IMT en la reducción de velocidad por efectos de IRI en carreteras federales, por lo que se recomiendan los siguientes puntos:

- 1) Realizar estudios de reducción de velocidades aplicadas exclusivamente para intersecciones viales semaforizadas propias de nuestro territorio nacional o mejor aún para cada entidad federativa, con el fin de construir tablas de referencia para la determinación del factor de reducción por efectos de IRI y ancho de carril.
- 2) Realizar estudios de flujo de saturación en función del IRI en intersecciones viales, con ello mediante métodos estadísticos se pueden determinar factores de reducción de velocidad con mayor veracidad.
- 3) Realizar estudios de reducción de velocidad aplicadas a arterias viales propias de nuestro territorio nacional o mejor aún para cada entidad federativa, con el fin de determinar las velocidades de flujo libre y la clasificación de arterias.
- 4) Determinar las tablas para el cálculo de factores como el de ancho de carril, paso de peatones, parada de autobuses, etc. adaptadas a las condiciones particulares de nuestro territorio nacional y mejor aún para cada entidad federativa.

La elaboración de una normativa que permita reglamentar el método para determinar los niveles de servicio de las arterias e intersecciones viales es una necesidad que aún queda por atender en gran parte de nuestro territorio nacional, ya que las leyes que existen actualmente son de carácter general, sin embargo tienen que enfocarse específicamente en la eficiencia de la red vial urbana, como parte de una mejora continua para el desarrollo continuo de nuestro país.

Existe mucho trabajo por realizar en este tema en particular, para adaptar en su totalidad el método del HCM a las condiciones prevalecientes para nuestro país o ciudad en específico. Por lo que es importante mencionar que es necesario el desarrollo de otros trabajos de investigación que complementen los puntos que no se tocaron en esta tesis.

Por otra parte, se requiere someter a prueba la aplicación de MASTER TRANSIT mediante la determinación del nivel de servicio con otros estudios de caso, para verificar y corroborar el buen funcionamiento del algoritmo. Una de las desventajas de esta aplicación desarrollada con el lenguaje de Visual Basic, es que, en algunos sistemas operativos distintos a Windows, no es compatible, por lo que nos limita a utilizarlo solo para este sistema operativo.

Es importante destacar la importancia de anotar los datos de manera correcta, para que los resultados que la aplicación emita, sea congruente y veraz, no debemos olvidar que MASTER TRANSIT es un algoritmo que trabaja con la información que se le proporciona. El programa fue diseñado con filtros que advierten al usuario cuando se introducen valores fuera de la lógica o de los rangos establecidos por el método del HCM, sin embargo, no siempre estos filtros pueden evitar la introducción de datos erróneos por parte del usuario. Por lo tanto, se recomienda que los usuarios tengan conocimiento del método del HCM para facilitar la operación de la aplicación. La interpretación de los resultados se tiene que hacer por parte de un especialista en tránsito y transporte, para poder proponer soluciones congruentes dentro de las limitantes permitidas por la reglamentación propia de cada región. Se recomienda, además, emitir dictámenes mediante la captura de pantalla del proceso de introducción de datos y emisión de resultados, para tener el contexto de la situación actual con la de las condiciones de mejora y proyectar los aforos obtenidos a un periodo de retorno de cinco años para evaluar las condiciones de operación del caso en estudio y con ello poder planificar a futuro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Técnica de Carreteras. (1985). *Manual de Capacidad de Carreteras*. Madrid: Comité Español de la A. I. P. C. R.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones*. México: Alfaomega.
- Ceballos S., F. J. (2006). *Visual Basic 6, Curso de programación*. México: Alfaomega.
- Cepeda Hernández, M. E. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE EL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) Y LA GENERACIÓN DE RUIDO VEHICULAR*. Tunja: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.
- ChatGPT. (06 de Febrero de 2025). *ChatGPT.com*. Obtenido de <https://chatgpt.com/c/67a4ecf1-e934-8013-9bc8-eb252096e2ec>
- CICEPAC. (22 de Octubre de 2024). *Conferencia de prensa: Vida económica de los pavimentos*. Obtenido de CICEPAC: <https://www.youtube.com/watch?v=GW86dld3brU>
- Coria Gutierrez, C. A. (Agosto de 2024). Clases de Maestría en Ingeniería con Opción Terminal en Tránsito y Transporte. *Conservación y Operación de Obras Viales*. Puebla: BUAP.
- Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia. (15 de Febrero de 2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana: revisión de literatura. *INVENTUM*, pág. 17.
- El Sol de Puebla. (16 de Octubre de 2024). *El Sol de Puebla*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/baches-y-semaforos-desafios-que-afectan-la-movilidad-en-puebla-12716611.html>
- El Sol de Puebla. (10 de Abril de 2024). *El Sol de Puebla*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/finanzas/venta-de-autos-chinos-afecta-a-la-industria-de-puebla-11730045.html>
- Espejel, A. (16 de Octubre de 2024). *El Sol de Puebla*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/baches-y-semaforos-desafios-que-afectan-la-movilidad-en-puebla-12716611.html>
- Flores H., G. (2025). *PROPUESTA PARA SOLUCIONAR EL CONGESTIONAMIENTO VIAL EN EL CRUCE DEL BOULEVARD VALSEQUILLO Y PERIFÉRICO ECOLÓGICO EN LA CIUDAD DE PUEBLA*. Puebla: BUAP.

- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2005). *Ingeniería de tránsito y de Carreteras*. México: Cengage learning.
- Gobierno del estado de Puebla. (2023). Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Puebla. *Ley de Movilidad y Seguridad Vial del Estado de Puebla* (pág. 105). Puebla: Secretaría de Gobernación.
- Google Maps. (28 de mayo de 2025). *Google Maps*. Obtenido de [https://www.google.com/maps/search/buap/@18.9722487,-98.1917464,17z?hl=es&entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSOASAFAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/search/buap/@18.9722487,-98.1917464,17z?hl=es&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSOASAFAw%3D%3D)
- IMT. (1991). *Manual de capacidad vial de 1985 (Una visión ejecutiva)*. Queretaro: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- IMT. (1998). *Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México*. Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- IMT. (2004). *Efecto de la regularidad superficial en la capacidad vial de autopistas y carreteras multicarril mexicanas*. Sanfandila, Qro.: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- IMT. (2023). *Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2023*. Querétaro: SICT.
- INEGI. (2023). *INDICADOR TRIMESTRAL DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA ESTATAL, PUEBLA*. CDMX: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- La Jornada de Oriente. (8 de Octubre de 2024). *La Jornada de Oriente*. Obtenido de <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/puebla/los-baches-imagen-de-la-impunidad/>
- López, V. (29 de agosto de 2024). *Milenio*. Obtenido de <https://www.milenio.com/politica/comunidad/parque-vehicular-puebla-aumento-13-ciento-inegi>
- Microsoft. (30 de 05 de 2024). *Learn*. Obtenido de <https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/visual-basic/>
- MILENIO. (21 de Noviembre de 2023). *MILENIO*. Obtenido de <https://www.milenio.com/politica/comunidad/entregan-red-semaforica-puebla-275-cruceros-sincronizados>
- ONU. (25 de Septiembre de 2015). *Asamblea General de la ONU*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/#>

- ONU. (26 de mayo de 2025). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de 17 objetivos para transformar nuestro mundo: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- ONU HABITAD. (23 de Mayo de 2017). *ONU HABITAD*. Obtenido de <https://onu-habitat.org/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire>
- Ortuzar, L. G. (2011). *Modelling Transport*. United Kingdom: WILEY.
- Periodico Enfoque. (4 de Noviembre de 2024). *Periodico Enfoque*. Obtenido de <https://www.periodicoenfoque.com.mx/puebla/el-ayuntamiento-de-puebla-prepara-programa-de-bacheo-y-pavimentacion-tras-meses-de-abandono-2>
- PlantUML. (06 de Febrero de 2025). *PlantUML.com*. Obtenido de [https://editor.plantuml.com/uml/ZP9HQy8m4CVVyoaEzg8FOnMPb5QSkEdJ4Da-GMYIxR4saMIgSCFllcjQfpWt1areVhdy\\_tV7pMkdsJLLgQQrsvSuKpfnj2EtVoATiwxWKm4iTFAMisrC-cXBot0p7aycuRAziPmYNzALDQvdOHZsOAqh1Csaloka9LrPathvAmP9aIcBPpBOeo1OhOB0qvD-peZccvrP7D4hVI2CxlYaAMPxNIIUIP](https://editor.plantuml.com/uml/ZP9HQy8m4CVVyoaEzg8FOnMPb5QSkEdJ4Da-GMYIxR4saMIgSCFllcjQfpWt1areVhdy_tV7pMkdsJLLgQQrsvSuKpfnj2EtVoATiwxWKm4iTFAMisrC-cXBot0p7aycuRAziPmYNzALDQvdOHZsOAqh1Csaloka9LrPathvAmP9aIcBPpBOeo1OhOB0qvD-peZccvrP7D4hVI2CxlYaAMPxNIIUIP)
- SCT. (2021). *N-CSV-CAR-1-03-004/21*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Sierra, F. J. (2006). *Visual Basic 6 Curso de Programación*. México: Alfaomega.
- Stefanoni M., J. L. (2023). *Apuntes de clase "Tránsito II"*. Puebla: BUAP.
- Stefanoni Minutti, J. L. (2023). Apuntes de Ingeniería de Tránsito II. *Ingeniería de Tránsito II* (pág. 100). Facultad de Ingeniería: BUAP.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington DC: National Academy of Sciences.
- Transportation Research Board. (2010). *HCM*. United States of America: The National Academy of Sciences.
- World Resources Institute. (2 de Febrero de 2022). *WRI*. Obtenido de <https://es.wri.org/insights/3-lineas-de-accion-para-descarbonizar-al-sector-transporte-en-mexico#:~:text=El%20transporte%20es%20el%20segundo,de%20crecimiento%20anual%20del%201.9%25>.
- Zepeda Ortega, I. E., Ángeles Castro, G., & Carrillo Murillo, D. G. (2019). Infraestructura Carretera y Crecimiento Económico en México. *Revista Problemas del Desarrollo*, 24.

**ANEXOS**

# **MASTER TRANSIT**

**Manual de Operación**

Desarrollado por:

Ing. Alejandro Maldonado Tilla © Todos los derechos reservados, 2025.

## **1.0. Introducción.**

MASTER TRANSIT es una aplicación desarrollada para resolver el cálculo de los niveles de servicio para intersecciones no semaforizadas en "T", intersecciones no semaforizadas en "cruz", intersecciones semaforizadas incluyendo los efectos de IRI y ancho de carril, y arterias viales considerando los efectos de IRI. El método de aplicación es el que considera el HCM y las tablas de referencia para la determinación de factores son los que se exponen en la asociación técnica de carreteras de España (Asociación Técnica de Carreteras, 1985).

La determinación de los niveles de servicio en las intersecciones como en las arterias viales, es de suma relevancia, ya que el desarrollo económico de una región dependerá de la eficiencia de su red vial urbana, de igual manera permite a los analistas y especialistas, a planificar las estrategias para reducir tiempos de traslado de los usuarios de la red partiendo de soluciones técnicas y veraces. De esta manera se puede lograr dar alternativas no tan costosas y de grandes beneficios a los habitantes de una región.

Considerar todas las variables que intervienen en un problema de tránsito nos lleva a desarrollar ecuaciones muy complejas, por lo que el método del HCM considera las variables más significativas. No obstante, el método americano no contempla el estado físico del camino o vialidad, que es una condición que no puede ser despreciada, ya que recordemos que los elementos que conforman al sistema vial son: los usuarios, el vehículo y el camino. Partiendo de este contexto, cualquier falla en uno de estos elementos, puede afectar la eficiencia en la red vial. Por lo tanto es fundamental que mediante el índice de regularidad internacional, conocido por sus siglas en inglés como IRI, sea introducido en el método del HCM, con ello se logra la obtención de resultados confiables.

MASTER TRANSIT es la primera aplicación que considera los efectos de IRI dando resultados congruentes con las condiciones reales de las intersecciones y arterias viales, permite a los planeadores a tomar decisiones y alternativas viables y económicas que pueden ser a corto, mediano o largo plazo.

A continuación, se presenta la interfaz gráfica de la aplicación con una explicación detallada de los controles y su funcionamiento durante el desarrollo del análisis.

## 2.0. Interfaz para el cálculo del nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas tipo “T”.

En la red vial urbana existen diferentes tipos de intersecciones, algunas de ellas no cuentan con dispositivos de semaforización, como es el caso de las intersecciones en “T” no semaforizadas, que solo disponen en algunos casos de un señalamiento vertical que advierte para hacer alto total debido a que la vialidad principal entronca con una vialidad secundaria.

Después de realizar los aforos vehiculares correspondientes se deben de introducir los valores a la interfaz gráfica de MASTER TRANSIT, como se muestra en la siguiente ilustración, donde cada elemento esta enumerado y se explica su funcionamiento.

The screenshot shows the 'Input Worksheet' form for MASTER TRANSIT. The fields are as follows:

Analyst:	Alejandro Maldonado Tila (1)	Date of counts:	sábado, 31 de mayo de 2025 (5)		
Major Road:	Calle Tezuitlan Sur (2)	Project No.:	100-223470016 (6)	PHF:	0.88 (7)
Minor Road:	Calle Tecamachalco (3)	Time Period:	08:15 (8) to 09:15 (9)		
City/State:	Colonia la Paz, Puebla, Puebla (4)	Average Running Speed:	67 (10) Km/hr.		

**Figura 1.0.** Introducción de datos generales a la interfaz de MASTER TRANSIT para el cálculo de nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en “T”.

Los elementos que componen esta primera parte son:

- 1) El nombre del analista aquí debe anotarse el nombre de la persona que realiza el análisis.
- 2) El nombre de la calle principal, en esta casilla debe anotarse el nombre de la vía principal.
- 3) El nombre de la calle secundaria, en este apartado se anota el nombre de la calle secundaria.
- 4) Colonia, ciudad y estado, se anotan los nombres de la colonia, la capital y el estado e incluso el país donde pertenece la intersección.
- 5) Fecha del estudio, aquí predeterminadamente aparece la fecha actual, sin embargo, puede cambiarse según lo requiera el analista.
- 6) Número de proyecto, aquí se anota el número de proyecto para el control interno del analista o empresa.
- 7) Factor de hora de máxima demanda, en esta parte se anota el factor de hora de máxima demanda, este factor se debe determinar con antelación en el proceso de análisis de datos de los aforos.
- 8) Tiempo inicial del periodo de máxima demanda.
- 9) Tiempo final del periodo de máxima demanda.
- 10) Velocidad media de operación. Esta velocidad debe determinarse en el aforo mediante la observación de las velocidades promedio sobre esta intersección.

Posterior al llenado de los datos generales, se debe continuar con el llenado de las casillas que contienen los datos viales del aforo.

**Figura 1.1.** Introducción de datos viales a la interfaz de MASTER TRANSIT para intersecciones no semaforizadas en “T”.

- 1) Introducir el número de carriles.
- 2) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V2.
- 3) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V3.
- 4) Introducir el número de carriles.
- 5) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V5.
- 6) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V4.
- 7) Introducir el número de carriles.
- 8) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V7.
- 9) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V9.
- 10) Introducir el valor de la pendiente en porcentaje.
- 11) Elegir la opción según sea el caso:
  - a) STOP: Cuando la intersección cuenta con un señalamiento de ALTO.
  - b) YIELD: Cuando la intersección carezca de señalamiento vertical.
- 12) Elegir la opción según sea el caso
  - a) The composition of the traffic is not known. Cuando la composición del parque vehicular no es conocida.
  - b) The composition of the traffic is known. Cuando la composición del parque vehicular es conocida.
- 13) Botón para calcular el volumen ajustado de tránsito.

En el caso en el que el parque vehicular sea conocido, para realizar el ajuste de tránsito, será necesario que después de elegir la opción que aparece en la siguiente Figura 1.2:

Composition of the traffic

The composition of the traffic is not known

The composition of the traffic is known

**Figura 1.2.** Elección de la opción donde se conoce la configuración del parque vehicular en intersecciones no semaforizadas en “T”.

Es necesario llenar la tabla con los valores de la composición vehicular

Calculation of Equivalent Vehicles

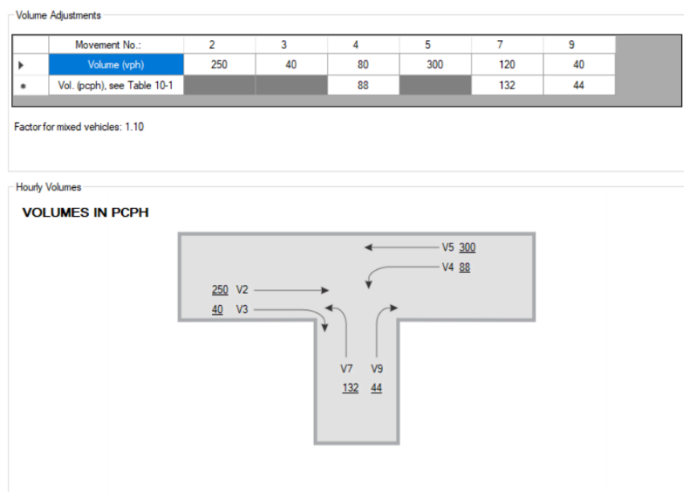
Vehicle Type	V2	V3	V4	V5	V7	V9
Motorcycles						
Light vehicles						
Trailerless trucks and VRs						
Trucks with trailer						
Summation	0	0	0	0	0	0

Close

Equivalent Vehicles

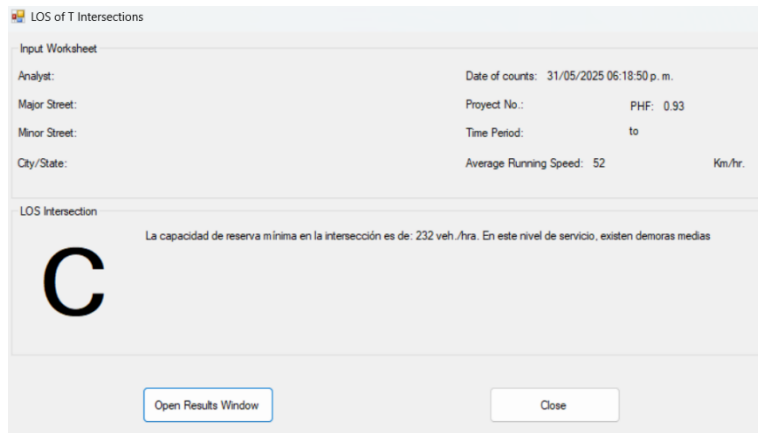
**Figura 1.3.** Tabla para el llenado de la configuración vehicular por movimiento en la intersección no semaforizada en “T”.

Después de introducir los datos viales en la interfaz, oprima el botón *Calculate Volume Adjustment* para ajustar el volumen de tránsito. En la interfaz se verá una tabla con los datos de ajuste realizados y con un esquema en los que se imprimen los valores de tránsito ajustados para cada movimiento.



**Figura 1.4.** Tabla y diagrama con valores de tránsito ajustado para intersección no semaforizada en “T”.

Posteriormente oprima el botón *Calculate LOS* para desarrollar el cálculo del nivel de servicio de la intersección. En este paso, en su pantalla aparecerá el resultado del cálculo, como se muestra a continuación.



**Figura 1.5.** Ventana de resultados del nivel de servicio de una intersección no semaforizada en "T".

En esta ventana aparecen los datos generales y el nivel de servicio de la intersección no semaforizada en "T", acompañada de un texto en el que se describe el nivel de servicio obtenido. Si se requiere ver con mayor detalle los resultados que MASTER TRANSIT desarrolló, puede oprimir el botón *Open Results Window*, en esta ventana se desglosa el desarrollo de cálculo y los resultados preliminares de cada paso.

STEP 1: RT from Minor Street (Movement V9)	STEP 2: LT From Major Street (Movement V4)	STEP 3: RT from Minor Street (Movement V7)
Conflicting Flow, Vc (vph): 270	Conflicting Flow, Vc (vph): 290	Conflicting Flow, Vc (vph): 658
Critical Gap, Tc (sec.): 5.60	Critical Gap, Tc (sec.): 5.05	Critical Gap, Tc (sec.): 6.65
Potential Capacity, Cp (pcph): 796	Potential Capacity, Cp (pcph): 891	Potential Capacity, Cp (pcph): 377
Actual Capacity, Cm (pcph): 796	Percent of Cp, (%): 9.88	Actual Capacity, Cm (pcph): 351
	Impedance Factor: 0.93	
	Actual Capacity, Cm (pcph): 891	

SHARED LANE CAPACITY						
Movement No.	v (pcph)	Cm (pcph)	CHS (pcph)	CR	LOS	
▶ Movement V7	132	351				
▶ Movement V9	44	796	408	232	C	
* Movement V4	88	891		803	A	

LOS Intersection

**C** La capacidad de reserva mínima en la intersección es de: 232 veh./hra. En este nivel de servicio, existen demoras medias

Close

**Figura 1.6.** Ventana de resultados del nivel de servicio de una intersección no semaforizada en "T" de forma detallada para cada paso realizado en la aplicación MASTER TRANSIT.

Para salir de esta sección del programa será necesario oprimir el botón *Close*, posteriormente en su pantalla se verá la primera ventana de introducción de datos, en esta fase de cálculo se pueden anotar valores que considere pueden mejorar el nivel de servicio de la intersección y continuar con el proceso de calculo que ya se ha descrito anteriormente, de lo contrario solo basta con oprimir el botón EXIT y se cerrara la aplicación.

### 3.0. Interfaz para el cálculo del nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas tipo “Cruz”.

De manera similar a la introducción de datos generales de la intersección en “T”, se llena este apartado para la intersección no semaforizada en “cruz”.

**Figura 1.7.** Introducción de datos generales a la interfaz de MASTER TRANSIT para el cálculo de nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en “Cruz”.

Los elementos que componen esta parte son:

- 1) El nombre del analista aquí debe anotarse el nombre de la persona que realiza el análisis.
- 2) El nombre de la calle principal, en esta casilla debe anotarse el nombre de la vía principal.
- 3) El nombre de la calle secundaria, en este apartado se anota el nombre de la calle secundaria.
- 4) Colonia, ciudad y estado, se anotan los nombres de la colonia, la capital y el estado e incluso el país donde pertenece la intersección.
- 5) Fecha del estudio, aquí predeterminadamente aparece la fecha actual, sin embargo, puede cambiarse según lo requiera el analista.
- 6) Número de proyecto, aquí se anota el número de proyecto para el control interno del analista o empresa.
- 7) Factor de hora de máxima demanda, en esta parte se anota el factor de hora de máxima demanda, este factor se debe determinar con antelación en el proceso de análisis de datos de los aforos.
- 8) Tiempo inicial del periodo de máxima demanda.
- 9) Tiempo final del periodo de máxima demanda.
- 10) Velocidad media de operación. Esta velocidad debe determinarse en el aforo mediante la observación de las velocidades promedio sobre esta intersección.

Una vez que se introdujeron los datos generales, se continua con la introducción de los datos viales obtenidos en el aforo.

The screenshot shows the 'Hourly Volumes' window with the following data fields and callouts:

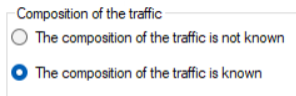
- Top Intersection (North-South):**
  - Grade (%): 2 (1)
  - N: 2 (2)
  - V12: 120 (3)
  - V11: 20 (4)
  - V10: 10 (5)
  - V6: 40 (8)
  - V5: 100 (9)
  - V4: 40 (10)
  - Grade (%): 0 (6)
  - N: 2 (7)
- Bottom Intersection (North-South):**
  - Grade (%): -2 (11)
  - N: 2 (12)
  - V7: 20 (13)
  - V8: 40 (14)
  - V9: 10 (15)
- Left Intersection (East-West):**
  - Grade (%): 0 (16)
  - N: 2 (17)
  - V1: 60 (18)
  - V2: 120 (19)
  - V3: 20 (20)
- Control and Legend:**
  - STOP (selected) / YIELD (21)
  - STOP / YIELD (22)
  - Calculate Volume Adjustment (23)
  - Legend: The composition of the traffic is not known (selected) / The composition of the traffic is known (24)

**Figura 1.8.** Introducción de datos viales y de tránsito a la interfaz de MASTER TRANSIT para el cálculo de nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en “Cruz”.

- 1) Introducir el valor de la pendiente.
- 2) Introducir el número de carriles.
- 3) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V12.
- 4) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V11.
- 5) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V10.
- 6) Introducir el valor de la pendiente.
- 7) Introducir el número de carriles.
- 8) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V6.
- 9) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V5.
- 10) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V4.
- 11) Introducir el valor de la pendiente.
- 12) Introducir el número de carriles.
- 13) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V7.
- 14) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V8.
- 15) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V9.
- 16) Introducir el valor de la pendiente.
- 17) Introducir el número de carriles.
- 18) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V1.
- 19) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V2.
- 20) Introducir valores obtenidos del aforo para el movimiento V3.
- 21) Elegir la opción según sea el caso:
  - a) STOP: Cuando la intersección cuenta con un señalamiento de ALTO.

- b) YIELD: Cuando la intersección carezca de señalamiento vertical.
- 22) Elegir la opción según sea el caso:
  - a) STOP: Cuando la intersección cuenta con un señalamiento de ALTO.
  - b) YIELD: Cuando la intersección carezca de señalamiento vertical.
- 23) Elegir la opción según sea el caso
  - a) The composition of the trafict is not known. Cuando la composición del parque vehicular no es conocida.
  - b) The composition of the trafict is known. Cuando la composición del parque vehicular es conocida.
- 24) Botón para calcular el ajuste de tránsito para cada movimiento.

En el caso en el que el parque vehicular sea conocido, para realizar el ajuste de tránsito, será necesario que después de elegir la opción que aparece en la siguiente Figura 1.9:



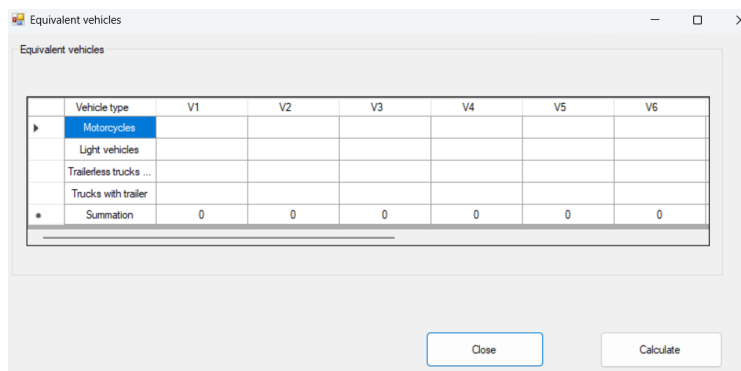
Composition of the traffic

The composition of the traffic is not known

The composition of the traffic is known

**Figura 1.9.** Elección de la opción donde se conoce la configuración del parque vehicular en intersecciones no semaforizadas en “Cruz”.

Se proceda con el llenado de la tabla de la configuración del tránsito



Vehicle type	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Motorcycles						
Light vehicles						
Tralleless trucks ...						
Trucks with trailer						
* Summation	0	0	0	0	0	0

**Figura 1.10.** Llenado de configuración vehicular para cada movimiento en intersecciones no semaforizadas en “Cruz” en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Una vez llenada la tabla de la configuración vehicular por cada movimiento, se procede a realizar el cálculo de ajuste de volumen vehicular. Aparecerá en su pantalla una tabla con los resultados de ajuste de volumen vehicular.

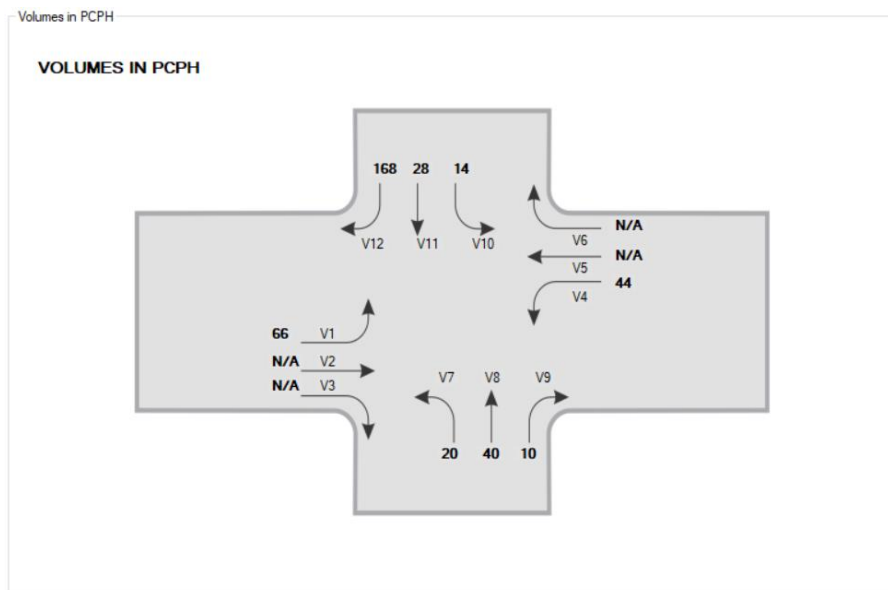
Volume Adjustments												
Movement No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
▶ Volume (vph)	60	120	20	40	100	40	20	40	10	10	20	120
* Vol. (pcph)	66			44			20	40	10	14	28	168

	Movement V1, V2 and V3	Movement V4, V5 and V6	Movement V7, V8 and V9	Movement V10, V11 and V12
Factor for mixed vehicles:	1.10	1.10	1.00	1.40
Motorcycle factor:				
Factor for light vehicles:				
Factor for Trucks without trailer:				
Factor for Trucks with Trailer:				

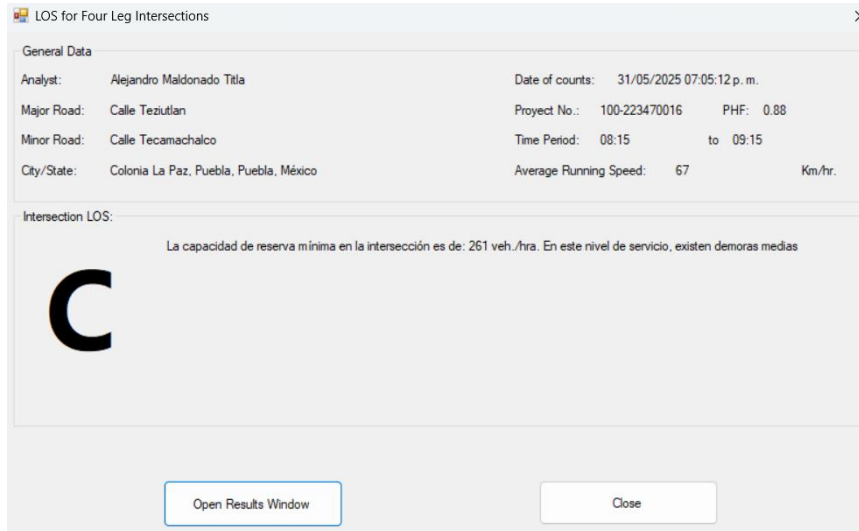
**Figura 1.11.** Tabla de resultados del ajuste de volumen vehicular para cada movimiento en intersecciones no semaforizadas en “Cruz” en la interfaz de MASTER TRANSIT.

También aparecerá en su pantalla la impresión de los resultados obtenidos en la tabla anterior para cada movimiento, como se muestra a continuación:



**Figura 1.12.** Impresión de resultados en esquema para cada movimiento en intersecciones no semaforizadas en “Cruz” en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Posteriormente, se procede a calcular el nivel de servicio de la intersección, para ello debe oprimir el botón *Calculate LOS*, que se encuentra en la parte inferior de la ventana.



**Figura 1.13.** Resultado de nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en “Cruz” en la interfaz de MASTER TRANSIT.

En la ventana de resultados se imprimen los datos generales del proyecto y además el nivel de servicio de la intersección, con una explicación del significado de esta calificación. Si se requiere ver con mayor detalle los resultados obtenidos en cada paso de cálculo, debe oprimir el botón *Open Results Window*, aparecerá una ventana con los resultados preliminares calculados en cada caso.

STEP 1: RT From Minor Street				STEP 2: LT From Major Street				Intersection LOS	
	V9	V12		V4	V1			Intersection LOS: <b>C</b>	
Conflicting Flows, Vc (vph):	130	120		140	140			La capacidad de reserva mínima en la intersección es de: 261 veh./hora. En este nivel de servicio, existen demoras medias	
Critical Gap, Tc (Tab 10-2):	5.98	5.98		5.24	5.24				
Potential Capacity, Cp (Fig 10-3):	963	873		993	993				
Percent of Cp utilized:	1.16	19.24		4.43	6.65				
Impedance Factor, P (Fig 10-5):	0.99	0.86		0.97	0.96				
Actual Capacity, Cm:	863	873		993	993				

STEP 3: TH From Minor Street				STEP 4: LT From Minor Street			
	V8	V11		V7	V10		
Conflicting Flows, Vc (vph):	380	370		576	420		
Critical Gap, Tc (Tab 10-2):	6.71	6.71		7.21	7.21		
Potential Capacity, Cp (Fig 10-3):	540	548		364	457		
Percent of Cp utilized:	7.41	5.11					
Impedance Factor, P (Fig 10-5):	0.95	0.97					
Actual Capacity, Cm:	501	508		281	400		

SHARED LANE CAPACITY						
	Movement	v (pcph)	cm (pcph)	CSH (pcph)	CR	LOS
▶	Minor street approach movement: 7	20	281	20	261	C
	Minor street approach movement: 8	40	501	547	497	A
	Minor street approach movement: 9	10	863			
	Minor street approach movement: 10	14	400	14	386	B
	Minor street approach movement: 11	28	508	792	596	A
	Minor street approach movement: 12	168	873			
	Major street left turn: 1	66	993		927	A
*	Major street left turn: 4	44	993		949	A

**Figura 1.14.** Resultados de cada paso en la determinación del nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en “Cruz” en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Aquí se pueden realizar las iteraciones necesarias oprimiendo el botón de *Close*, para regresar a la ventana de inicio y repetir el proceso de cálculo, de lo contrario, si se requiere salir de la aplicación solo basta con oprimir el botón de EXIT de la ventana principal.

#### 4.0. Interfaz para el cálculo del nivel de servicio de intersecciones semaforizadas incluyendo los efectos de IRI y ancho de carril.

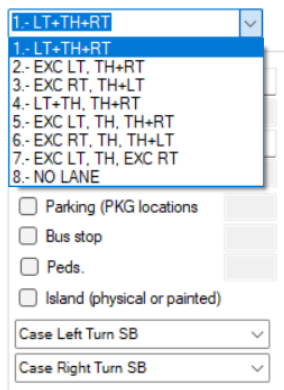
Para iniciar con el proceso de cálculo del nivel de servicio para intersecciones viales semaforizadas, se tendrá que llenar el cuadro de datos generales, a continuación se muestra los datos que corresponden a cada recuadro del programa.

**Figura 1.15.** introducción de datos generales para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT.

- 1) Nombre del analista responsable de la dictaminación de los resultados del análisis de nivel de servicio de una intersección semaforizada en la interfaz de MASTER TRANSIT.
- 2) Nombre de calle en el sentido de Norte a Sur.
- 3) Nombre de calle en el sentido de Oriente a Poniente.
- 4) Ciudad, estado y país donde se encuentra la intersección.
- 5) Número económico del proyecto.
- 6) Fecha y hora de la elaboración del analisis.
- 7) Tipo de área donde se encuentra la intersección, elegir el caso según el tipo de intersección por analizar:
  - a) CBD. Cuando la intersección se encuentre en la zona urbana de la región de estudio.
  - b) Other. Cuando la intersección se encuentre en otro tipo de zona de la región de estudio.
- 8) Hora de inicio del periodo de máxima demanda.
- 9) Hora donde finaliza el periodo de máxima demanda.
- 10) Flujo de saturación ideal. Se anota el valor de flujo de saturación ideal según estudios de flujo de saturación de la zona o se recomienda utilizar el valor de 1800 veh/hr.

Después de anotar los datos generales es necesario entender bien los conceptos de grupo de carril y de casos de vuelta a la derecha y a la izquierda para introducirlos en la interfaz de MASTER TRANSIT.

En primera instancia debe elegir el grupo de carriles según lo que se observe en la intersección para el sentido EB, WB, NB y SB respectivamente.



**Figura 1.16.** Elección del grupo de carriles para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

Los grupos de carriles que MASTER TRANSIT contempla son las siguientes combinaciones de movimientos que son considerados los más comunes en los grupos de carriles de intersecciones semaforizadas.

- 1.- LT+TH+RT. Movimiento a la izquierda más movimiento de frente más movimiento a la izquierda.
- 2.- EXC LT, TH+RT. Movimiento exclusivo a la izquierda, movimiento de frente más movimiento a la derecha.
- 3.- EXC RT, TH+LT. Movimiento exclusivo a la derecha, movimiento de frente más movimiento a la izquierda.
- 4.- LT+TH, TH+RT. Movimiento a la izquierda más movimiento de frente para un grupo de carriles y movimiento de frente más movimiento a la derecha para otro grupo de carriles.
- 5.- EXC LT, TH, TH+RT. Movimiento exclusivo a la izquierda, movimiento de frente, movimiento de frente más movimiento a la derecha.
- 6.- EXC RT, TH, TH+LT. Movimiento exclusivo a la derecha, movimiento de frente, movimiento de frente más movimiento a la izquierda.
- 7.- EXC LT, TH, EXC RT. Movimiento exclusivo a la izquierda, movimiento de frente, movimiento exclusivo a la derecha.
- 8.- NO LANE. Cuando no existan movimientos para el sentido elegido. Cuando se trate de intersecciones semaforizadas en "T".

Una vez elegido el grupo de carriles, se habilitarán los recuadros según la elección proporcionada. Por ejemplo, si se elige el grupo de carriles número 7, se habilitaran todos los recuadros:

- 1) Lanes TH.- número de carriles con movimiento de frente.
- 2) Lane width exclusive LT.- ancho de carril exclusivo a la izquierda.
- 3) Lane width LT. Ancho de carril de frente.
- 4) Lane width exclusive RT.- ancho de carril exclusivo a la derecha.
- 5) Parking (PHG locations).- número de vehículos estacionados en hora de máxima demanda.
- 6) Bus stop.- número de paradas de autobús en hora de máxima demanda.
- 7) Peds.- número de peatones que cruzan en la hora de máxima demanda, por cada sentido de la intersección.
- 8) Island (physical or painted).- isleta pintada o paramento construido para dividir los sentidos de la intersección.
- 9) Case Left Turns.- elegir el caso de vuelta a la izquierda según la fase semafórica que se haya observado en la intersección.
- 10) Case Right Turns.- elegir el caso de vuelta a la derecha según la fase semafórica que se haya observado en la intersección.

7.- EXC LT, TH, EXC RT	
Direction SB	
Lanes TH:	1
Lane width exclusive LT:	2
Lane width TH:	3.5
Lane width exclusive RT:	3
<input checked="" type="checkbox"/> Parking (PKG locations)	6
<input checked="" type="checkbox"/> Bus stop	23
<input checked="" type="checkbox"/> Peds.	35
<input checked="" type="checkbox"/> Island (physical or painted)	
Case Left Turn SB	
1.- Exclusive LT lane; Protected Phasing	
2.- Exclusive LT lane; Permitted Phasing	
3.- Exclusive LT lane; Protected Plus Phasing	
4.- Shared LT lane; Protected Phasing	
5.- Shared LT lane; Permitted Phasing	
6.- Shared LT lane; Protected Plus Phasing	
7.- Single lane Approach	
8.- Double exclusive LT lane; Protected Phasing	
9.- No Lane LT	

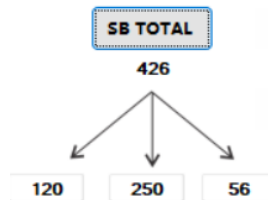
**Figura 1.17.** Llenado de datos geométricos y características de la intersección para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

Posteriormente al llenado de los datos anteriormente descritos, se continua con el llenado de los datos de transito de la intersección, estos datos de tránsito se obtienen del aforo y de la determinación de los factores de máxima demanda para cada sentido de la intersección.



**Figura 1.18.** Llenado de datos de tránsito de la intersección para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

En estos recuadros se insertan los valores para los volúmenes de tránsito en los movimientos a la izquierda, de frente y derecha. Al oprimir el botón superior para cada sentido, el programa imprime la suma de vehículos registrados en todo el sentido.



**Figura 1.19.** Suma de volumen total de tránsito para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

La interfaz permite, además, anotar los valores de vehículos equivalentes para vehículos pesados. El usuario anotará según el criterio que aplique.

Write down the widths of the lanes in meters.  
Equivalent number of through cars for each heavy vehicle:

**Figura 1.20.** Factor de número de vehículos equivalentes para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

Posteriormente en la tabla Traffic and Roadway Conditions, al hacer clic sobre esta, se llenarán predeterminadamente las celdas con la información recabada anteriormente. Por lo que se recomienda el llenado siguiendo el proceso aquí descrito.

Traffic and Roadway Conditions

Approach	Grade (%)	% HV	Adj. Pkg. Lane (Y or N)	Adj. Pkg. Lane (Nm)	Buses (NB)	PHF	Conf. Peds. (peds./hr)	Ped. Button (Y or N)	Ped. Button (Min. Tim)	Arr. Type
EB			Y	20	4		150	<input type="checkbox"/>	0	
WB			Y	20	0		200	<input type="checkbox"/>	0	
NB			Y	20	15		100	<input type="checkbox"/>	0	
SB			N	0	0		100	<input type="checkbox"/>	0	

Grade: + up, - down  
 HV: veh. With more than 4 wheels  
 Nm: pkg. Maneuvers/hr

NB: buses stopping/hr  
 Conf. Peds: Conflicting peds./hr  
 PHF: peak-hour factor

Min. Tim.: min. green for pedestrian crossing.  
 Arr. Type: Type 1-6

**Figura 1.21.** Tabla para el llenado de las condiciones de tránsito para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

Traffic and Roadway Conditions

Approach	Grade (%)	% HV	Adj. Pkg. Lane (Y or N)	Adj. Pkg. Lane (Nm)	Buses (NB)	PHF	Conf. Peds. (peds./hr)	Ped. Button (Y or N)	Ped. Button (Min. Tim)	Arr. Type
EB	-2	6.9	Y	20	4	0.88	150	<input type="checkbox"/>	0	2
WB	2	5.8	Y	20	0	0.82	200	<input type="checkbox"/>	0	2
NB	6	5.9	N	0	15	0.87	100	<input type="checkbox"/>	0	1
SB	-6	6.0	N	0	0	0.90	100	<input type="checkbox"/>	0	1

Grade: + up, - down  
 HV: veh. With more than 4 wheels  
 Nm: pkg. Maneuvers/hr

NB: buses stopping/hr  
 Conf. Peds: Conflicting peds./hr  
 PHF: peak-hour factor

Min. Tim.: min. green for pedestrian crossing.  
 Arr. Type: Type 1-6

**Figura 1.22.** Llenado de tabla de las condiciones de tránsito para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

Posteriormente al llenado de la tabla de las condiciones de tránsito se deben proporcionar los datos de las fases semafóricas, MASTER TRANSIT admite hasta 8 fases semafóricas. Es importante que en esta sección se anoten las fases semafóricas que sean congruentes con los casos de vuelta a la izquierda y con los casos de vuelta a la derecha, así como de la elección correcta de los grupos de carriles elegidos en el primer paso, para que los resultados del análisis sean congruentes.

Phasing

Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
11.- TH + LT + F	EB	17.- Pedestrian	EB	EB	EB	EB	EB
11.- TH + LT + F	WB	17.- Pedestrian	WB	WB	WB	WB	WB
NB	11.- TH + LT + F	NB	17.- Pedestrian	NB	NB	NB	NB
SB	11.- TH + LT + F	SB	17.- Pedestrian	SB	SB	SB	SB

Timing	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
Timing G:	52	35	18	18	0	0	0	0
Timing Y:	3	3	3	3	0	0	0	0
Timing R:	65	82	99	99	0	0	0	0
Cycle:	120	120	120	120	0	0	0	0

Write down the data of the traffic light phases in seconds. Phase time all in red (sec.): 0

Protected Turns Permitted Turns Pedestrian

Phasing:  Pretimed  Actuated

Cycle Length (sec.):

**Figura 1.23.** Llenado de sección de fases semafóricas para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

En esta sección se permite la introducción del tiempo en el que todas las fases estén en rojo por paso de peatones, para ello es necesario anotar el tiempo de todo en rojo en el recuadro siguiente:

Phase time all in red (sec.):

**Figura 1.24.** Recuadro para el caso de que la intersección tenga un tiempo de todo en rojo, para el cálculo del nivel de servicio en intersecciones semaforizadas en la interfaz de MASTER TRANSIT, para cada sentido.

Posteriormente debe oprimirse el botón

Cycle Length (sec):

De esta forma, se habilita el botón

Calculate LOS

Una vez que se habilita el botón *Calculate LOS*, y que no tenga ningún error el cálculo del ciclo semafórico, se puede realizar el análisis de la intersección sin considerar los efectos de IRI.

Una vez que se ejecuta el botón para el cálculo del nivel de servicio de la intersección en la pantalla aparecerán los resultados de cada proceso de cálculo, como se muestra a continuación:

VOLUME ADJUSTMENT WORKSHEET											
	Appr./Mnt.	Mnt. Volume (vph)	Peak Hour Factor PHF	Flow Rate v/p (vph)	Lane Group	Flow Rate in Lane Group v/p (vph)	Number of Lanes N.	Lane Utilization Factor U-Table	Adj. Flow v (vph)	Prop. of LT	Prop. of RT
▶	EB/LT	71	0.88	81	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	EB/TH	176	0.88	200	1	599	2	1.05	629	0.13	0.53
	EB/RT	280	0.88	318	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	WB/LT	100	0.82	122	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	WB/TH	262	0.82	320	1	536	2	1.05	563	0.23	0.18
	WB/RT	77	0.82	94	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	NB/LT	537	0.87	617	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	NB/TH	458	0.87	526	1	1,321	2	1.05	1,387	0.47	0.13
	NB/RT	155	0.87	178	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	SB/LT	280	0.9	311	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00
	SB/TH	354	0.9	393	1	871	2	1.05	915	0.36	0.19
	SB/RT	150	0.9	167	0	0	0	0.00	0	0.00	0.00

**Figura 1.25.** Resultados de ajuste de volúmenes en la intersección para cada movimiento y grupo de carriles.

SATURATION FLOW ADJUSTMENT WORKSHEET											
Appr.	Lane Group Movements	Ideal Sat. Flow (pc/hgln)	No. Of Lanes (N)	Lane Width (w)	Heavy Veh. (H/V)	Grade (g)	Pkg. (p)	Bus Blockage (b)	Area Type (a)	Right Turn (RT)	Left
▶	EB/LT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
	EB/TH	1.00	1.800	2.00	1.0000	0.9667	1.0100	0.9000	0.9920	0.9000	0.8824
	EB/RT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
	WB/LT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
	WB/TH	1.00	1.800	2.00	1.0000	0.9718	0.9900	0.9000	1.0000	0.9000	0.9570
	WB/RT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
	NB/LT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
	NB/TH	1.00	1.800	2.00	1.0000	0.9713	0.9700	1.0000	0.9700	0.9000	0.9733
	NB/RT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	
	SB/LT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	1.0000	
	SB/TH	1.00	1.800	2.00	1.0000	0.9709		1.0000	1.0000	0.9000	0.9622
*	SB/RT	0.00	1.800	0.00	0.0000	0.0000		0.0000	0.0000	1.0000	

**Figura 1.26.** Tabla de ajuste de flujo de saturación para cada movimiento de la intersección.

SUPPLEMENTAL WORKSHEET FOR LEFT - TURN ADJUSTMENT FACTOR, fLT				
Input Variables/Computations	EB	WB	NB	SB
▶ Cycle Leng. C(sec)	120	120	120	120
Effective Green, g(sec)	52	52	35	35
Number Of Lane, N	2	2	2	2
Total Approach Flow Rate, Va(vph)	599	536	1,321	871
Mainline Flow Rate, VM(vph)	518	414	1,321	871
Left-Turn Flow Rate, VLT(vph)	81	122	617	311
Proportion Of LT, PLT	0.1347	0.2275	0.4673	0.3572
Opposing Lanes, No	2	2	2	2
Opposing Flow Rate, Vo(vph)	414	518	871	1,321
Prop. Of LT In Opp. Vol., PLTO	0.2275	0.1347	0.3572	0.4673
Sop	2,910	3,240	410	1,696
Yo	0.1423	0.1600	2.1246	0.7789
gu	40.7211	39.0487	195.5836	-264.4283
fs	0.6162	0.5511	0.3306	0.0494
PL	0.3714	0.6823	0.7037	0.0000
ga	11.2789	12.9513	-160.5836	299.4283
PT	0.6286	0.3177	0.2963	1.0000
gf	3.1384	0.9309	-2193207676593...	0.0000
EL	1.8256	2.0416	3.4026	22.7848
fm	0.7124	0.5216	-6266307647408...	-7.4980
fLT	0.8562	0.7608	-3133153823704...	-3.2490

**Figura 1.27.** Tabla complementaria para determinar el factor de vuelta a la izquierda en los casos especiales.

CAPACITY ANALYSIS WORKSHEET									
Appr.	Lane Group Movements	Adj. Flow Rate v (vph)	Adj. Sat. Flow Rate s (vphg)	Flow Ratio v/s	Green Ratio g/C	Lane Group Capacity c (vph)	v/c Ratio X	Critical Lane Group	
▶	EB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	EB TH	1	629	2.475	0.2541	0.4333	1.073	0.5864	Critical
	EB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	WB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	WB TH	1	563	2.655	0.2120	0.4333	1.150	0.4892	
	WB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	NB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	NB TH	1	1,387	2.816	0.4925	0.2917	821	1.6885	Critical
	NB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	SB LT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		
	SB TH	1	915	0	0.0000	0.2917	0	0.0000	
*	SB RT	0	0	0.0000	0.0000	0	0.0000		

**Figura 1.28.** Tabla de análisis de capacidad de la intersección.

LEVEL OF SERVICE WORKSHEET

	Appr.	Lane Group Movements	v/c Ratio X	Green Ratio g/C	Cycle Length C (sec)	Delay d1 (sec/veh)	Lane Group Capacity c (lyph)	Delay d2 (sec/veh)	Progression Factor PF	Lane Group Delay (sec/veh)	Lane Group LOS	Act
▶	EB LT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	EB TH	1	0.5864	0.4333	120	19.6306	1.073	0.6210	1.35	27.34	D	
	EB RT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	WB LT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	WB TH	1	0.4892	0.4333	120	18.5820	1.150	0.2740	1.35	25.46	D	
	WB RT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	NB LT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	NB TH	1	1.6885	0.2917	120	45.0806	821	690.7847	1.40	1030.21	F	11
	NB RT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	SB LT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	
	SB TH	1	0.0000	0.2917	120	22.8792	0	0.0000	1.85	42.33	E	
*	SB RT	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0	0.0000	0.00	0.00	0	

**Figura 1.29.** Tabla de nivel de servicio en cada movimiento de la intersección.

Level Of Service  
 Intersection Delay: 429.15 sec. Level Of Service (LOS): F

El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurre cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean mayores a 1.0, pero teniendo una sincronía muy pobre y/o ciclo demasiado grande.

Write your comment:

Additional Information  
 Cycle Length: C: 120 sec.  
 Lost Time Per Cycle: L: 12 sec.  
 Xc: 0.8295

**Return**

**Figura 1.30.** Sección de resultados del nivel de servicio de la intersección.

Una vez realizado el cálculo del nivel de servicio, se puede ejecutar el botón Return, el cual permitirá regresar a la ventana inicial para modificar algún dato como las fases semafóricas o en su caso introducir las condiciones de IRI. Para introducir estas condiciones de la regularidad del pavimento, se necesita que desde la ventana de inicio se elija la opción como se muestra en la siguiente ilustración:

Properties of the pavement, IRI:

Consider the physical properties of the pavement, IRI:

Yes  
 No

Ideal speed and IRI by lane group

Appr/Mvt.	IRI	Vo (Km/hr)
EB/LT		
EB/TH	4.5	40
EB/RT		
WB/LT		
WB/TH	2.51	40
WB/RT		
NB/LT		
NB/TH	2.51	40
NB/RT		
SB/LT		
SB/TH	2.51	40
SB/RT		

**Figura 1.31.** Opción y llenado de celdas para la determinación del nivel de servicio incluyendo los niveles de IRI.

En esta sección se deben anotar los valores de IRI y la velocidad de circulación de cada sentido y movimiento de la intersección. Posteriormente se debe realizar el

mismo proceso de cálculo descrito anteriormente para calcular el nivel de servicio incluyendo los efectos de IRI.

**Figura 1.32.** Resultados del nivel de servicio incluyendo efectos de IRI en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Después de seguir estos pasos, el especialista en tránsito y transporte podrá iterar los resultados modificando los tiempos en las fases semafóricas y en las condiciones de IRI para proponer mejoras en la eficiencia de la intersección.

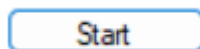
## 5.0. Interfaz para el cálculo del nivel de servicio de arterias viales semaforizadas incluyendo los efectos de IRI.

De los resultados obtenidos en el análisis de intersecciones semaforizadas se pueden introducir los valores correspondientes para realizar el cálculo del nivel de servicio de arterias viales. En primera instancia será necesario llenar los recuadros en la sección de datos generales en la interfaz de MASTER TRANSIT.

**Figura 1.33.** Introducción de datos generales para el cálculo del nivel de servicio en arterias viales.

- 1) Arterial.- en esta sección se anotan los datos de la arteria en estudio.
- 2) File or Case No.- se anota el número económico del proyecto.
- 3) Prepared by.- en este recuadro se anota el nombre de la persona o de la empresa encargada de analizar o dictaminar las condiciones de la arteria vial.
- 4) Date.- en esta sección aparece la fecha actual, sin embargo puede ser cambiada a la elección del usuario oprimiendo la flecha desplegable.
- 5) Ideal Sat. Flow (veh/hr).- en esta sección se anota el flujo de saturación ideal, se recomienda usar el valor predeterminado de 1800 veh/hr., no obstante se puede anotar el valor que el analista considere mejor para el estudio.
- 6) Number of segments.- en esta sección se anota el número total de segmentos de la arteria por analizar, es importante mencionar que el valor mínimo de segmentos admitidos por la interfaz de MASTER TRANSIT es de dos.

Posteriormente cuando se haya anotado el valor del número de segmentos, se oprime el botón Start.



De esta forma en la tabla de introducción de datos de la arteria, se desplegará el número de celdas según el valor del número de segmentos. En este momento, puede iniciar el llenado de datos.

Aerial summary of intersection delay estimates

	Segment	Cycle Length (C)	g/C	v/c Ratio X	Traffic Light (Type)	Arrival Type	Length (Km)	Arterial Class	Free Flow (Km/Hr.)	Section	Other Delay (sec)	IRI
▶	1				P							
	2				P							
	3				P							
	4				P							
	5				P							
	6				P							
*	7				P							

**Figura 1.34.** Tabla para llenado de datos de la arteria en la interfaz de MASTER TRANSIT.

En esta sección se anotarán los datos de la arteria como se muestra a continuación:

- 1) Segment.- lista de segmentos elegidos por el usuario.
- 2) Cycle Length ( C ).- tiempo del ciclo semafórico en cada sección de la arteria.
- 3) g/C.- proporción de tiempo en verde con relación al total del ciclo semafórico.
- 4) v/c Ratio X: relación entre el flujo de saturación ajustado y la capacidad del grupo de carriles del movimiento de frente. Este resultado es obtenido del cálculo de nivel de servicio de cada intersección.
- 5) Traffic Light (Type).- se refiere al tipo de semáforo en cada sección, se puede elegir las opciones que se adapten a lo observado en cada segmento de la arteria.
  - a) P.- predeterminado
  - b) A.- actuado
- 6) Arrival Type.- tipo de arribo en cada sección analizada.
- 7) Length.- longitud del segmento de arteria en (Km)
- 8) Arterial Class.- Tipo o clase de arteria según la elección del usuario, esta va desde la clase 1 hasta la clase 3.
- 9) Free Flow (Km/hr).- velocidad a flujo libre observada en el sitio para cada arteria.
- 10) Section.- se refiere a que si dos segmentos pueden conformar una sola sección, se debe anotar el número de la sección que le corresponda, es decir dos segmentos pueden pertenecer a la sección 3 por lo que en los dos segmentos se anotará el número 3 para hacer referencia que son una misma sección.
- 11) Other delay (sec).- otras demoras consideradas en cada segmento de la arteria, se mide en segundos. Esto puede ser un semáforo peatonal en medio de un segmento de arteria.
- 12) IRI.- se anota el valor de iri de cada segmento de arteria, los valores de IRI que considera la interfaz de MASTER TRANSIT es de 2.5 a 12. Si se anota un valor menor a 2.5 la aplicación entiende que no existe reducción de velocidad por efecto de IRI y realiza los cálculos normalmente.

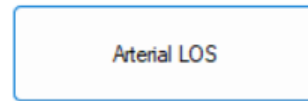
A manera de ejemplificar, se llena la tabla con datos obtenidos de analizar siete intersecciones semaforizadas que forman parte de la arteria.

Aterial summary of intersection delay estimates

Segment	Cycle Length (C)	g/C	v/c Ratio X	Traffic Light (Type)	Arrival Type	Length (Kin)	Arterial Class	Free Flow (Kin/hr.)	Section	Other Delay (sec)	IRI
1	70	0.6	0.583	P	5	0.32	1	60	1		
2	70	0.6	0.611	P	5	0.32	1	60	2		
3	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	3		
4	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	4		
5	70	0.6	0.597	P	5	0.48	1	60	5		
6	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	6		
7	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	7		

**Figura 1.35.** Llenado de datos en tabla para cálculo de nivel de servicio en una arteria en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Posteriormente se oprime el botón:



En la pantalla aparecerán los resultados del análisis como se muestra a continuación:

Aterial Summary Of Intersection Delay

Segment	Cycle Length (C)	g/c	v/c Ratio X	Lane Group Capacity c	Initial Stopped Delay (sec)	Traffic light (Type)	Arrival Type	Progression factor FF	Adjusted Stopped Delay	Intersection LOS	Adjusted Approach Delay
1	70	0.6	0.583	1049	7.16	P	5	0.53	3.79	A	4.93
2	70	0.6	0.611	1100	7.45	P	5	0.53	3.95	A	5.14
3	70	0.6	0.611	1100	7.45	P	5	0.53	3.95	A	5.14
4	70	0.6	0.611	1100	7.45	P	5	0.53	3.95	A	5.14
5	70	0.6	0.597	1075	7.3	P	5	0.53	3.87	A	5.03
6	70	0.6	0.593	1067	7.26	P	5	0.53	3.85	A	5
7	70	0.6	0.593	1067	7.26	P	5	0.53	3.85	A	5

**Figura 1.36.** Impresión de resultados en la tabla Arterial Summary Of Intersection Delay, en esta tabla se exponen los resultados obtenidos de las demoras calculadas para cada segmento de la arteria.

Computation Of Arterial Level Of Service Worksheet

Segment	Length (Kin)	Arterial Class	Free Flow (Kin/hr.)	Section	Running Time (sec)	Intersection Approach Delay	Other Delay (sec)	Sum Time	Sum of Time by Section	Sum of Length by Section	Arterial SPD (Kin/hr)
1	0.32	1	60	1	23.87	4.93		28.8	28.8	0.32	40
2	0.32	1	60	2	23.87	5.14		29.01	29.01	0.32	40
3	0.48	1	60	3	31.61	5.14		36.75	36.75	0.48	47
4	0.48	1	60	4	31.61	5.14		36.75	36.75	0.48	47
5	0.48	1	60	5	31.61	5.03		36.64	36.64	0.48	47
6	0.64	1	60	6	39.04	5		44.04	44.04	0.64	52
7	0.64	1	60	7	39.04	5		44.04	44.04	0.64	52

**Figura 1.37.** Impresión de resultados de la tabla Computation Of Arterial Level Of Service Worksheet, en esta tabla se exponen los resultados del calculo del nivel de servicio de la arteria para cada sección.

Posteriormente, se muestra en la parte inferior de la ventana, los resultados y el nivel de servicio de toda la arteria con una explicación breve de su significado y las posibles razones que la generan.

LOS Arterial

Grand Sum of Time: 256.53 sec.      LOS Arterial: **B**      Presenta una circulación con un nivel aceptable de impedimentos, velocidad media de recorrido generalmente al 70% de la velocidad en régimen libre, la capacidad para maniobrar se ve ligeramente restringida. Los conductores no se ven sometidos a una tensión apreciable.

Grand Sum of Length: 3.36 Km

SPD ART: 47 Km/hr.

**Figura 1.38.** Impresión de resultados del nivel de servicio de una arteria sin considerar los efectos de IRI en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Posteriormente, si se desea incluir, corregir, revisar o modificar algún dato, oprima el botón Close.



Con esta acción en la pantalla aparecerá nuevamente la ventana de inicio, en esta ventana se pueden hacer las modificaciones que se deseen. Por ejemplo, incluir los datos de IRI para cada segmento de la intersección.

Arterial summary of intersection delay estimates

Segment	Cycle Length (C)	g/C	v/c Ratio X	Traffic Light (Type)	Arrival Type	Length (Km)	Arterial Class	Free Flow (Km/hr.)	Section	Other Delay (sec)	IRI
1	70	0.6	0.583	P	5	0.32	1	60	1		5
2	70	0.6	0.611	P	5	0.32	1	60	2		5
3	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	3		5
4	70	0.6	0.611	P	5	0.48	1	60	4		5
5	70	0.6	0.597	P	5	0.48	1	60	5		5
6	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	6		5
7	70	0.6	0.593	P	5	0.64	1	60	7		5

**Figura 1.39.** Edición de tabla de datos de la arteria incluyendo valores para considerar los efectos de IRI en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Una vez que se editaron los datos en la tabla, se puede calcular el nivel de servicio de la intersección incluyendo los efectos de IRI.

LOS Arterial

Grand Sum of Time: 364.94 sec.      LOS Arterial: **D**      En este nivel, cualquier pequeño incremento de flujo puede causar incrementos importantes de la demora en los accesos, y por tanto, descuentos de la velocidad arterial. Se debe generalmente a una muy mala sincronía semafórica, ciclos semafóricos inapropiados, volúmenes vehiculares elevados o combinación de estos tres factores. Las velocidades medias de recorrido se encuentran alrededor del 40% de la velocidad en régimen libre.

Grand Sum of Length: 3.36 Km

SPD ART: 33 Km/hr.

**Figura 1.40.** Resultados obtenidos incluyendo los efectos de IRI en la interfaz de MASTER TRANSIT.

Si se desea realizar alguna otra modificación o edición a la tabla de datos, se recomienda seguir el mismo procedimiento anteriormente descrito. Si se desea salir de la aplicación solo basta con oprimir el botón Exit, el cual se encuentra en la parte inferior de la ventana de inicio.



De manera muy sencilla se puede operar la interfaz de la aplicación de MASTER TRANSIT. Es importante mencionar que esta versión de MASTER TRANSIT es con fines académicos y por tanto carece de funciones como de guardar archivos o imprimir, por lo que se recomienda que los resultados sean capturados desde su pantalla para poder así presentarlos en un informe o dictaminación de resultados.

MASTER TRANSIT agradece su confianza y preocupados por la mejora continua, ponemos a su disposición nuestro canal de YouTube @mastertransit2025 donde se estarán compartiendo videos tutoriales del funcionamiento de la interfaz.