**Desarrollo de aplicación Web para los Manuales de Capacidad y Nivel de Servicio de Colombia**

Cristian Nicolás Rodríguez González

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Ing. MSc. Fredy Alberto Guío Burgos

Tunja 2023

**Desarrollo de aplicación Web para los Manuales de Capacidad y Nivel de Servicio de Colombia**

AUTOR

CRISTIAN NICOLÁS RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar al título de INGENIERO EN TRANSPORTE Y VÍAS

DIRECTOR

Ing. MSc. FREDY ALBERTO GUÍO BURGOS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE TRANSPORTE Y VÍAS

TUNJA

2023

Nota de aceptación:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Firma del presidente del jurado

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Firma del jurado

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Firma del jurado

La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado.

Se autoriza su uso y reproducción indicando el origen.

**DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico …

A Dios, por ser la fuente de todo lo posible, por iluminar mi camino, brindarme la fuerza necesaria para superar inconvenientes, adversidades y darme la capacidad y sabiduría necesaria para llevar a cabo este proyecto.

A mis padres, *Blanca Cecilia González y Edibardo Rodríguez Ayala*, por su amor incondicional y constante apoyo en todos los aspectos de mi vida, especialmente en este proceso de formación universitaria. Sin su dedicación, sacrificio y apoyo incondicional, no habría sido posible.

A mi hermano, *Juan Esteban Rodríguez González* y mis demás familiares por su apoyo incansable y motivación a ser mejor cada día.

**AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, hermano y toda mi familia por ser la motivación para superarme y querer lograr mejorar cada día. Su apoyo ha sido fundamental en todos los aspectos de mi vida y en el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero *Fredy Alberto Guío Burgos* por su apoyo, orientación, paciencia durante el proceso de desarrollo y redacción de esta tesis. Su experiencia, conocimiento y dedicación han sido fundamentales para el éxito de este proyecto. Agradezco su tiempo y esfuerzo por guiarme y creer en mi capacidad para llevar a cabo este trabajo.

A la ingeniera *Flor Angela Cerquera Escobar* por sus consejos, por guiarme, escucharme y aconsejarme en aspectos relacionados a este proyecto. Igualmente, a todos los profesores que han sido parte de mi formación universitaria, sus lecciones y conocimientos han sido fundamentales para mi desarrollo y crecimiento como estudiante y profesional. Mi agradecimiento es inmenso y les guardaré un lugar especial en mi corazón y en mi camino profesional.

A *Angela Yu* quien a través de sus cursos de programación me enseño las bases de la programación y los conocimientos necesarios para llevar a cabo esta aplicación web, sus métodos de enseñanza han sido una motivación para querer seguir aprendiendo más acerca del desarrollo web cada día. Igualmente, a *Fernando Herrera* y *Nicolas Schurmann* por sus videos, cursos de programación y ser esos guías y personajes que tanto admiro.

A mis amigos *Sandy Cárdenas*, *Camilo Ruiz*, *Milena Pinto*, *Héctor Pinzón*, *Adriana Soler*, *Edwin Montañez* y demás compañeros, por sus risas, ánimos y apoyo durante todo este proceso, gracias por su compañía y su colaboración en toda esta etapa de formación.

A mi universidad, por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y habilidades valiosas a través de una educación de calidad. Agradezco a todo el personal académico y administrativo por su dedicación y apoyo constante durante mi formación universitaria. Sin su orientación y enseñanza, no habría podido completar esta tesis. También agradezco a la institución por proporcionarme los recursos y el ambiente de aprendizaje necesarios para el desarrollo de mi carrera profesional. Mi gratitud a la universidad es inmensa

Esta tesis es una dedicatoria a todos ustedes, por haber sido mi apoyo en este camino de aprendizaje y crecimiento, les agradezco de todo corazón.

**TABLA DE CONTENIDO**

[INTRODUCCIÓN 13](#_Toc125415067)

[I. Marco Teórico 14](#_Toc125415068)

[1. Transporte y su Importancia en la Sociedad Actual 14](#_Toc125415069)

[2. Importancia del Estudio, Diseño y Planificación de la Infraestructura Vial en el Desarrollo Económico y Social 16](#_Toc125415070)

[2.1. Oferta y Demanda de una Infraestructura Vial 17](#_Toc125415071)

[3. Análisis de la capacidad vial en carreteras: concepto, importancia y variaciones internacionales 19](#_Toc125415072)

[4. Concepto y evaluación del Nivel de Servicio en infraestructuras vehiculares 20](#_Toc125415073)

[5. Capacidad y Niveles de Servicio en contexto global 21](#_Toc125415074)

[5.1. Manual HCM 22](#_Toc125415075)

[5.2. Manual HCM – Capítulo 15 – Autopistas de dos carriles 23](#_Toc125415076)

[5.3. Manual HCM – Capítulo 12 -Segmentos básicos de autopistas y carreteras multicarril. 23](#_Toc125415077)

[6. Capacidad y Nivel de Servicio en Colombia 24](#_Toc125415078)

[6.1. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles 25](#_Toc125415079)

[6.2. Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras multicarril 25](#_Toc125415080)

[7. Herramientas Computacionales Utilizadas para el análisis de Capacidad y Nivel de Servicio 26](#_Toc125415081)

[7.1. Programa HCS 27](#_Toc125415082)

[7.2. Software SIDRA INTERSECTION 27](#_Toc125415083)

[7.3. Programa SYNCHRO 28](#_Toc125415084)

[8. Estructura y Componentes de una Aplicación Web 30](#_Toc125415085)

[8.1. Definición y beneficios de una aplicación web 30](#_Toc125415086)

[8.2. Estructura de una aplicación Web 31](#_Toc125415087)

[8.3. HTML: comprensión de la estructura básica de una página web 32](#_Toc125415088)

[8.4. CSS: Estilo y diseño de un sitio web 33](#_Toc125415089)

[8.5. JavaScript: Interactividad y dinamismo de un sitio web 35](#_Toc125415090)

[8.6. Python en el desarrollo web 35](#_Toc125415091)

[8.7. Flask: Un framework web ligero para Python 36](#_Toc125415092)

[II. Metodología 38](#_Toc125415093)

[Paso 1. Uso de Python y Flask 38](#_Toc125415094)

[Paso 2. Archivo Python auxiliar 39](#_Toc125415095)

[Paso 3. Información necesaria para cada manual 41](#_Toc125415096)

[Paso 4. Uso de la información recolectada en los formularios 44](#_Toc125415097)

[Paso 5. Resultados y Procedimiento Realizado 51](#_Toc125415098)

[Análisis de Sensibilidad 54](#_Toc125415099)

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE TABLAS**

# INTRODUCCIÓN

# Marco Teórico

## Transporte y su Importancia en la Sociedad Actual

El transporte es esencial para el desarrollo económico y social de un país. Lleva a cabo el traslado de personas, bienes y servicios de un lugar a otro, lo que permite la producción y el consumo de bienes y servicios. Además, el transporte es un factor clave para el crecimiento económico, ya que permite a las empresas expandir su alcance geográfico, aumentando su capacidad para generar ingresos y empleo. En términos sociales, el transporte facilita a las personas el acceso a servicios básicos, educación y empleo, mejorando su calidad de vida. Sin embargo, el transporte también puede tener efectos negativos en la sociedad, como congestión, contaminación y accidentes, por lo que es importante desarrollar políticas y estrategias que promuevan un transporte sostenible.

Como lo comenta Cal, Mayor, & Cárdenas (2018), existe una estrecha relación entre el sistema de transporte de una región y su sistema socioeconómico. En efecto, el sistema de transporte tiene un impacto significativo en el crecimiento y cambio del sistema socioeconómico, y por su parte, las variaciones en el sistema socioeconómico también causan cambios en el sistema de transporte (pág.34).

El transporte es un aspecto crucial en la vida cotidiana de las personas y en el funcionamiento de una sociedad. Ortúzar Salas (2012), hace referencia al transporte como un bien altamente cualitativo y diferenciado, ya que existen viajes con distintos propósitos, a diferentes horas del día, por diversos medios y para variados tipos de carga. La variedad y complejidad de estos factores implican una gran cantidad de aspectos difíciles de analizar y cuantificar, como problemas de seguridad y comodidad. Sin embargo, para que un servicio de transporte sea eficaz, debe satisfacer esta demanda diferenciada y cubrir todos los atributos necesarios. En este contexto, es importante destacar que un servicio de transporte que no cumpla con estos requisitos sería completamente inadecuado.

En conclusión, el transporte es un elemento esencial para el desarrollo económico y social de una sociedad. Como señala Cal y Mayor (2018), el transporte es útil en dos aspectos: utilidad de lugar y utilidad de tiempo, es decir, contar con los pasajeros o mercancías en un lugar específico en el momento oportuno (pág.32). El éxito en satisfacer esta necesidad ha sido y será uno de los principales contribuyentes en la elevación del nivel de vida de las sociedades de todos los países del mundo. Sin un sistema de transporte eficiente, las sociedades se verían limitadas en su capacidad para mover personas y bienes, lo que a su vez afectaría el comercio, la economía y la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, es importante seguir invirtiendo en la infraestructura, la tecnología y la política del transporte para garantizar que las sociedades puedan continuar creciendo y prosperando.

Ortúzar Salas (2012) señala que la demanda de transporte es eminentemente dinámica y hay pocas horas disponibles para realizar las distintas actividades. Además, el hecho de que el transporte sea un servicio tiene la importante consecuencia de que no se pueden hacer reservas para ser utilizadas en períodos de mayor demanda. Por lo tanto, si el servicio de transporte no se consume cuando se produce, sencillamente se pierde. Esto tiende a generar problemas en los períodos de punta en los que existe una gran demanda y desequilibrios con respecto a los lapsos fuera de punta con menores requerimientos.

Jayaratne & Pasindu (2019) enfatizan que, dado que la industria del transporte es esencialmente un componente del sector servicios, es de vital importancia que los ingenieros de tráfico, los planificadores del transporte y los ingenieros comprendan y evalúen la "calidad" del servicio que prestan las instalaciones de transporte diseñadas por ellos. Además, es imperativo comprender primero la "capacidad" de dichas instalaciones, especialmente en el contexto urbano, dada la gran interdependencia de la circulación de los flujos de tráfico en las carreteras. El conocimiento de la capacidad es importante en el diseño y mantenimiento de las autopistas y se rige por parámetros geométricos como el número de carriles, su anchura, el tipo de mediana, la densidad de puntos de acceso, entre otros. Además, se utiliza como dato de entrada en los estudios de planificación del transporte, como la modelización de la demanda de tráfico en el análisis de redes.

## Importancia del Estudio, Diseño y Planificación de la Infraestructura Vial en el Desarrollo Económico y Social

La infraestructura vial es esencial para el desarrollo económico y social de una sociedad. Sin un sistema de carreteras y autopistas eficiente, las sociedades se verían limitadas en su capacidad para mover personas y bienes, lo que a su vez afectaría el comercio, la economía y la calidad de vida de las personas. El estudio, diseño y planificación de la infraestructura vial es esencial para garantizar que el sistema de carreteras y autopistas sea seguro, eficiente y sostenible. En este sentido, es importante considerar aspectos como la accesibilidad, la seguridad, la sostenibilidad y la capacidad del sistema de carreteras y autopistas, a fin de lograr un desarrollo económico y social equilibrado.

Cal, Mayor, & Cárdenas (2018), han afirmado lo siguiente:

Uno de los patrimonios más valiosos con el que cuenta cualquier país, es la infraestructura y en particular la del sistema vial, por lo que su magnitud y calidad representan uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. Por esto es común encontrar un excelente sistema vial en un país de un alto nivel de vida y un sistema vial deficiente es un país subdesarrollado. (pág.108)

En cuanto al mal estado de las vías Sekhar, Nataraju, Velmurugan, Kumar, & Sitaramanjaneyulu (2016) afirman:

Los pavimentos en mal estado no sólo provocan atascos y accidentes de tráfico, sino que también se caracterizan por velocidades más lentas, colas más largas y molestias graves. Los firmes se diseñan en función de los límites de velocidad y la capacidad de tráfico deseados a lo largo del tiempo, sin tener en cuenta los efectos de los distintos parámetros de deterioro del firme, como las roderas, los baches, las grietas, los desprendimientos y las grietas en los bordes, entre otros.

Mantener la infraestructura vial en buen estado es esencial para garantizar una serie de beneficios tanto para la sociedad como para la economía. Una infraestructura vial en buen estado proporciona una mayor seguridad en las carreteras, permite una mayor eficiencia en el tránsito de personas y bienes, contribuye a la sostenibilidad, ya que reduce la contaminación y el consumo de combustible y puede mejorar la calidad de vida de las personas al facilitar el acceso a servicios esenciales como la educación, la salud y el trabajo. Por estas razones es fundamental mantener la infraestructura vial en buen estado, para lograr un desarrollo sostenible y equilibrado.

### Oferta y Demanda de una Infraestructura Vial

La oferta y demanda son dos factores fundamentales en el funcionamiento de cualquier sistema económico, y esto también se aplica a la infraestructura vial. La oferta de infraestructura vial se refiere a la cantidad de carreteras y autopistas disponibles para su uso, mientras que la demanda se refiere a la cantidad de vehículos y personas que desean utilizar esas carreteras y autopistas. El equilibrio entre oferta y demanda es esencial para garantizar una adecuada eficiencia en el tránsito de personas y bienes.

La relación entre oferta y capacidad de una vía está estrechamente ligada. La capacidad de una vía se refiere a la cantidad máxima de vehículos que pueden transitar por ella de manera segura y eficiente. Por otro lado, la oferta de infraestructura vial se refiere a la cantidad de carreteras y autopistas disponibles para su uso.

En este contexto, la capacidad se presenta como un factor importante a tener en cuenta en el diseño, y funcionamiento de una infraestructura vial.

Jayaratne & Pasindu (2019) enfatizan que:

Es de vital importancia que los ingenieros de tráfico, los planificadores del transporte y los ingenieros comprendan y evalúen la "calidad" del servicio que prestan las instalaciones de transporte diseñadas por ellos. A este respecto, es imperativo comprender primero la "capacidad" de dichas instalaciones. Esto es especialmente importante en el contexto urbano, dada la gran interdependencia de la circulación de los flujos de tráfico en sus carreteras.

En un sistema de carreteras con una oferta adecuada, la capacidad de las vías será suficiente para satisfacer la demanda existente. Sin embargo, si la oferta no es suficiente para satisfacer la demanda, esto puede generar congestión y retrasos en el tráfico, lo que a su vez afecta la economía y la calidad de vida de las personas. Por otro lado, si la oferta es mayor que la demanda, se estarían utilizando recursos innecesariamente y se podrían generar ineficiencias en el sistema. Por esta razón es importante monitorear continuamente la oferta y capacidad de las vías para asegurar que están en equilibrio.

## Análisis de la capacidad vial en carreteras: concepto, importancia y variaciones internacionales

Conocer la capacidad de una vía es esencial para garantizar una serie de beneficios tanto para la sociedad como para la economía, también es importante para garantizar una mayor seguridad en las carreteras, ya que permite diseñar medidas para reducir el riesgo de accidentes.

La Transportation Research Board (2010) define este término como:

“el flujo máximo por hora que se puede esperar razonablemente para que las personas o los vehículos atraviesen un punto o una sección uniforme de un carril o una calzada durante un periodo de tiempo determinado en las condiciones predominantes de la calzada y el tráfico”.

Otra definición es la de Cal, Mayor, & Cárdenas (2018), la cuál establece que:

“La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial, y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente debido a que la capacidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo” (pág.181).

La base del análisis de la capacidad de las secciones de carretera se encuentra en el hecho de que la velocidad se reduce a medida que aumenta el flujo vehicular. Aunque esta reducción en la velocidad es moderada en niveles bajos de tráfico, se vuelve más significativa a medida que el tráfico se incrementa. Cerca del límite de capacidad, un pequeño aumento en el tráfico se traduce en una marcada reducción en la velocidad (Torrisi, Ignaccolo, & Inturri, 2017).

La capacidad vial de las carreteras varía entre diferentes países debido a una variedad de factores, como la infraestructura, las regulaciones y las prácticas de construcción. Por ejemplo, en países desarrollados como los Estados Unidos y Europa, las carreteras suelen tener una capacidad vial más alta debido a una mayor inversión en infraestructura y tecnología de construcción avanzada. En cambio, en países en desarrollo, la capacidad vial puede ser limitada debido a una menor inversión en infraestructura y tecnología de construcción menos avanzada.

La capacidad evalúa la suficiencia y calidad del servicio del tránsito vehicular, según lo señala Cerquera Escobar (2013), en este sentido, se estima la cantidad máxima de tráfico que el sistema puede soportar mientras se mantiene un cierto nivel de operación. Se presenta aquí el concepto de Nivel de Servicio, se establecen rangos de condiciones de operación para cada tipo de sistema y se relacionan con la cantidad de tráfico que puede ser acomodada para cada nivel de servicio. Esta última definición es importante ya que muestra la relación y complementariedad entre la capacidad y el nivel de servicio.

## Concepto y evaluación del Nivel de Servicio en infraestructuras vehiculares

De acuerdo con Romana, Nuñez, & Martinez Luri (2010), el nivel de servicio “es una medida cualitativa descriptora de las condiciones operativas de un flujo viario y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. La definición del nivel de servicio describe generalmente estas condiciones en relación con variables tales como la velocidad y tiempo de recorrido, la libertad de maniobra, la comodidad y conveniencia o adecuación del flujo a los deseos del usuario y la seguridad vial”. Se evalúan diferentes niveles de servicio para diferentes tipos de carreteras, como carreteras urbanas y rurales, autopistas, carreteras de montaña, etc. Los niveles de servicio varían de "A" a "F", donde "A" representa un servicio excelente y "F" representa un servicio inaceptable.

De los factores que afectan el nivel de servicio, según Chávez (2005), “se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, Tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.”

La capacidad de una vía se refiere a la cantidad máxima de vehículos o carga que puede transportar en un período de tiempo determinado. El nivel de servicio, por otro lado, se refiere a la calidad o disponibilidad del servicio de transporte que se proporciona en esa vía. Por ejemplo, una vía con una alta capacidad, pero con un alto nivel de congestión vehicular tendrá un bajo nivel de servicio, mientras que una vía con una menor capacidad, pero con una mejor fluidez de tráfico tendrá un mejor nivel de servicio. En resumen, la capacidad es una medida de la cantidad de tráfico que puede ser transportado, mientras que el nivel de servicio se refiere a cómo se transporta ese tráfico.

## Capacidad y Niveles de Servicio en contexto global

En diferentes países del mundo, debido a la importancia que presenta conocer la capacidad de las infraestructuras, se han realizado investigaciones y metodologías para el cálculo de este valor. Gran parte de estos procedimientos tienen como base los pasos realizados en el manual HCM, sin embargo, se agregan mas factores y pasos, para que el resultado final este acorde a las condiciones locales.

La capacidad vial se presenta entonces como un término universal, sin embargo, tal como lo referencia Jayaratne & Pasindu (2019), la capacidad vial es un valor que se basa en varios aspectos del tráfico y la carretera. Por esta razón, diferentes países han desarrollado sus propias orientaciones para calcular la capacidad de transporte de sus carreteras.

Es frecuente que con el tiempo se realicen cambios y actualizaciones a los diferentes manuales, producto de variaciones en las condiciones operativas y de diseño de la infraestructura, o también porqué en ocasiones se detecta que la capacidad hallada teóricamente no refleja la que se observa en campo. Por lo cual constantemente se realizan estudios que buscan determinar factores que fueron omitidos en el procedimiento de cálculo de la capacidad, es así como por ejemplo Hartmann & Vortisch (2016),en su estudio proponen ampliaciones para incorporar la sobresaturación al metodo del manual alemán de capacidad de autopistas (HBS), al no estar de acuerdo con la metodología, la cuál asigna un nivel de servicio F a todo un tramo en general si tan solo uno de los segmentos componentes presenta sobresaturación.

### Manual HCM

El Highway Capacity Manual (HCM) desarrollado en Estados Unidos es considerado como el documento pionero en la cuantificación del concepto de capacidad en las instalaciones de transporte, desde su primer lanzamiento en 1950 hasta las revisiones actuales. Sin embargo, los métodos del HCM desarrolladas en Estados Unidos no son directamente aplicables en todos los lugares del mundo debido a las variaciones en las condiciones locales (Jayaratne & Pasindu, 2019).

La Transportation Board Research (2016) se realiza la siguiente definición, “el Manual de Capacidad de Carreteras, en su forma actual, sirve de referencia fundamental sobre conceptos, medidas de rendimiento y técnicas de análisis para evaluar el funcionamiento multimodal de calles, autopistas, autovías y vías fuera de la vía pública”.

### Manual HCM – Capítulo 15 – Autopistas de dos carriles

El Capítulo 15 del manual HCM sexta edición, presenta diferentes formas de analizar cómo funcionan las autopistas de dos carriles en condiciones de tráfico continuo, cuando no hay dispositivos de control de tráfico o formación de grupos de vehículos debido a semáforos. La sección 3 proporciona un método para evaluar cómo los vehículos se desplazan en autopistas de dos carriles sin carriles de adelantamiento. Este método genera medidas de desempeño, como la velocidad promedio de viaje en la dirección analizada (ATS), la velocidad a flujo libre (FFS), el porcentaje de tiempo empleado en la dirección de seguimiento (PTSF) la relación entre la velocidad promedio y la velocidad libre de flujo, el tiempo de viaje, el nivel de servicio basado en varias medidas de acuerdo a la clase de la vía y la relación entre el volumen de tráfico y la capacidad de la autopista (Transportation Board Research, 2016).

### Manual HCM – Capítulo 12 -Segmentos básicos de autopistas y carreteras multicarril.

Un segmento básico de autopista o carretera multicarril es una sección de la carretera que no está cerca de puntos de acceso, desvío o intersecciones con señalización. Estos segmentos suelen tener entre cuatro y ocho carriles (en ambas direcciones) y límites de velocidad de entre 50 y 70 millas por hora. La metodología descrita en esta sección es aplicable para analizar la capacidad, el nivel de servicio y los requisitos de carril en estos segmentos básicos de autopista o carretera multicarril, y proporciona una metodología para estimar las capacidades en función de la separación entre carriles y el flujo libre de tráfico. Las medidas de rendimiento comunes utilizadas para evaluar el nivel de servicio de un segmento básico de autopista incluyen la densidad de vehículos de pasajeros por milla por carril, la velocidad media espacial y la relación entre el flujo de demanda y la capacidad (Transportation Board Research, 2016).

## Capacidad y Nivel de Servicio en Colombia

En Colombia, el nivel de servicio de las vías varía ampliamente dependiendo de la región y del tipo de vía en cuestión. En general, las vías urbanas y los accesos a las principales ciudades suelen tener un mayor nivel de congestión vehicular y un bajo nivel de servicio, mientras que las vías rurales y las carreteras principales pueden tener un mejor nivel de servicio.

La investigación en torno a la capacidad y el nivel de servicio en carreteras de dos carriles ha sido liderada por la Universidad del Cauca, a través del Programa de Maestría en Ingeniería de Tránsito y Transporte, dirigido por el Doctor Guido Radelat, se iniciaron investigaciones en este ámbito dando como resultado de este trabajo, la versión 1 del Manual de Capacidad. En 1996 y 1997, el Instituto Nacional de Vías colaboró con la Universidad del Cauca para llevar a cabo una investigación nacional sobre capacidad y niveles de servicio, cuyo resultado final fue la publicación de la versión 2 del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio en carreteras de dos carriles. En 1998, el Instituto Nacional de Vías adoptó este manual para Colombia, y su uso se ha vuelto obligatorio para la infraestructura bajo su jurisdicción (Universidad del Cauca & INVÍAS, 2020).

El Manual de Capacidad y Nivel de Servicio colombiano vigente fue publicado oficialmente en el año 2020, desarrollado por la Universidad del Cauca como colaborador del INVÍAS. Es un documento técnico esencial para el diseño, operación y mantenimiento de las carreteras del país. El manual proporciona una metodología para evaluar la capacidad y el nivel de servicio en carreteras de dos carriles y carreteras multicarril, cuya función es garantizar una circulación segura y eficiente en las carreteras colombianas.

### Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras de dos carriles

En este manual, la capacidad y el nivel de servicio se calculan de manera independiente, partiendo de una velocidad en condiciones casi ideales, que se va reduciendo mediante la aplicación de distintos factores de corrección. La capacidad se calcula para los dos sentidos de circulación, y se debe tener en cuenta que el nivel de servicio se determina considerando solamente los camiones como factor de efecto de vehículos pesados, ya que se considera que los buses transitan a velocidades similares a las de los autos. Además, los parámetros para el cálculo de la capacidad y el nivel de servicio son distintos, siendo el volumen y la velocidad media de recorrido respectivamente.

Es importante tener en cuenta que los factores geométricos ejercen una gran influencia en los resultados de capacidad y niveles de servicio, y su efecto es generalmente superior a los efectos que ocasionan las variables relacionadas con el tránsito. Por tanto, la secuencia de cálculo debe considerar primero el cálculo de la capacidad y en segundo lugar el del nivel de servicio. No se considera el efecto de la superficie de rodadura y en caso de requerir estudiar una vía con superficie de rodadura en mal estado, se recomienda realizar un estudio de velocidades (Universidad del Cauca & INVÍAS, 2020).Principio del formulario

### Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras multicarril

El Manual de Capacidad y Niveles de Servicio para carreteras multicarril en Colombia es una herramienta diseñada para evaluar el desempeño de las carreteras en cuanto a su capacidad y niveles de servicio. Este manual es una adaptación del Highway Capacity Manual (HCM) de los Estados Unidos, pero con algunas diferencias importantes. En este manual, la capacidad y el nivel de servicio se calculan de manera independiente, y se utilizan diferentes parámetros para su cálculo, también condiciones base referentes a situaciones de operación propicia o ideal de una carretera multicarril. El manual es una guía esencial para los ingenieros de tránsito y transporte en Colombia para diseñar, construir y operar carreteras de manera eficiente y segura.

La metodología adoptada para elaborar el Manual colombiano de carreteras multicarril es la planteada en el Capítulo 14 del Manual de Capacidad y Niveles de Servicio de Estados Unidos de América, adaptada a las condiciones de operación de Colombia. La medición del Nivel de Servicio se realiza a través de una calificación cualitativa que va de la A a la F a partir de la “densidad vial”, la cuál es la variable seleccionada como indicativa de esta situación. El nivel E corresponde a la capacidad de la vía, y se debe tener en cuenta que este valor es determinado para ambos sentidos de circulación; para los demás Niveles de Servicio se establecen flujos máximos, asociados a las densidades máximas aceptadas en cada nivel definido (Universidad del Cauca, 2020).

## Herramientas Computacionales Utilizadas para el análisis de Capacidad y Nivel de Servicio

El análisis de la capacidad y el nivel de servicio en carreteras multicarril es un proceso complejo que requiere de una gran cantidad de datos y cálculos precisos. Para facilitar este proceso, se han desarrollado herramientas computacionales específicas que permiten realizar estos análisis de manera rápida y eficiente. Estas herramientas están diseñadas para automatizar los cálculos y la recopilación de datos necesarios para el análisis, y permiten obtener resultados precisos y confiables. Además, estas herramientas suelen tener una interfaz intuitiva y fácil de usar, lo que permite a los usuarios realizar el análisis de manera rápida y sencilla, incluso si no tienen un gran conocimiento técnico. En resumen, las herramientas computacionales utilizadas para el análisis de capacidad y nivel de servicio son una herramienta esencial para los ingenieros, de tránsito y transporte, ya que les permiten realizar análisis precisos y eficientes para mejorar el desempeño de las carreteras.

### Programa HCS

El software de Capacidad de Autopista HCS es una herramienta utilizada para simular y analizar el rendimiento de una red de carreteras. Permite a los ingenieros de tráfico y planificadores de transporte evaluar diferentes escenarios de tráfico y diseñar soluciones para mejorar la capacidad y la seguridad de las carreteras. También puede ser utilizado para evaluar la eficacia de proyectos de construcción y mejoras de carreteras existentes.

El Software de Capacidad de Autopistas aplica fielmente los métodos y procedimientos documentados en el Manual de Capacidad de Autopistas (HCM). Puede realizar análisis tanto a nivel de planificación como operativo para calles de superficie, incluyendo intersecciones, autopistas, arterias, etc. (McTrans, 2021).

### Software SIDRA INTERSECTION

Es un software de modelado de intersecciones que permite simular y analizar el rendimiento de las intersecciones de carreteras. El software utiliza un enfoque de modelado basado en capacidades para analizar el tráfico en intersecciones, lo que permite a los usuarios evaluar diferentes escenarios de tráfico y diseñar soluciones para mejorar la eficiencia, la capacidad y la seguridad de las intersecciones. Además, el software también ofrece una amplia variedad de opciones de análisis, como el análisis de colisiones, el análisis de capacidad y el análisis de niveles de servicio, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para los profesionales del tráfico y la planificación del transporte.

Este software a su vez es de gran ayuda si se requieren realizar análisis de capacidad, SOLUTIONS, SIDRA (2023), afirma lo siguiente:

La configuración del Manual de capacidad de carreteras (HCM) en SIDRA INTERSECTION con opciones para las unidades métricas y habituales de EE. UU. complementa el HCM como una herramienta de análisis de redes e intersecciones basadas en carriles. A diferencia de otros paquetes de software, SIDRA HCM Setup no pretende ser una simple réplica de los procedimientos de HCM. En su lugar, complementa HCM al proporcionar varias extensiones de las capacidades que ofrece HCM.

Los modelos de capacidad y rendimiento de SIDRA son generalmente compatibles con los modelos HCM en sus estructuras y principios básicos. En la configuración de HCM, los parámetros del modelo se calibran utilizando los valores predeterminados de HCM.

### Programa SYNCHRO

Synchro Studio Suite es un software de planificación y diseño de semaforización de tráfico que permite a los ingenieros de tráfico y planificadores de transporte simular y analizar el rendimiento de los sistemas de control de tráfico. El software ofrece una amplia variedad de herramientas para el diseño de semaforización, como el análisis de capacidad y el análisis de niveles de servicio, lo que permite a los usuarios evaluar diferentes escenarios de tráfico y diseñar soluciones para mejorar la eficiencia y seguridad de los sistemas de control de tráfico.

En cuanto a temas relacionados a la capacidad, Studio (2017), especifica que “Synchro es compatible con la metodología del Manual de capacidad de carreteras (métodos de 2000 y 2010) para intersecciones y rotondas señalizadas. Synchro también implementa el método de utilización de la capacidad de la intersección para determinar la capacidad de la intersección”.

Los softwares mencionados anteriormente son solo algunos de una gran variedad que se han diseñado con el fin de facilitar a las personas los procesos de cálculo y manejo de datos, tal que en muy poco tiempo se obtienen los resultados para un análisis relacionado al tránsito, transporte, entre otros. Según McTrans (2021) “HCS permite a sus usuarios acceder a las últimas actualizaciones y asegurarse de que utilizan los últimos métodos en HCM. ¡Actualmente, alrededor de 15,000 usuarios en todo el mundo están usando HCS!”, lo que demuestra la gran utilidad del software y la gran cantidad de usuarios que requieren este tipo de tecnologías.

Aunque estos métodos computarizados son de gran ayuda para una gran cantidad de usuarios, pueden presentar las siguientes desventajas:

* Su uso requiere de un conocimiento previo de la metodología o de comandos especiales que permitan obtener los resultados requeridos.
* Estos programas en ocasiones presentan una serie de requerimientos para su instalación, que implican el uso de computadores con buena capacidad de memoria y procesamiento.
* En ocasiones se presentan problemas en la instalación.
* Pueden ser programas muy pesados que requieren cierta cantidad de espacio en la computadora.
* La mayoría de estos programas no son de uso libre y requieren la obtención de licencias y suscripciones para su uso. Por ejemplo, según el portal de McTrans, la suscripción para obtener la licencia del software HCS2023, tiene un valor que puede ir desde los 8000 dólares en adelante.

## Estructura y Componentes de una Aplicación Web

### Definición y beneficios de una aplicación web

Una aplicación web es una aplicación que se ejecuta en un navegador web y se accede a través de una conexión a Internet, y pueden ser utilizadas para realizar una variedad de tareas, como el correo electrónico, el almacenamiento en línea, la gestión de proyectos y la creación de sitios web. Una aplicación web es un producto final del desarrollo web.

Barba Soler (2013) se refiere al desarrollo web, como el proceso de creación y diseño de un sitio web. Consta de dos partes principales, la parte del cliente y la parte del servidor, que pueden trabajar de manera independiente o estar conectadas entre sí. La parte del cliente se encarga de crear la estructura y el diseño de la página web utilizando herramientas como HTML, CSS, JavaScript, y DOM, mientras que la parte del servidor se encarga de construir el back-end, la parte invisible del sitio web, utilizando lenguajes de programación como PHP, ASP.NET, JSP, entre otros. El objetivo de esta parte es diseñar bases de datos y garantizar la seguridad del sitio web. Cuando ambas partes se comunican, se habla de programación cliente-servidor, lo que permite al usuario interactuar con los contenidos alojados en bases de datos, registrar nuevo contenido y crear cuentas de usuario.

Entre los beneficios de una aplicación web se encuentra su accesibilidad, ya que no requiere de una instalación ni de una actualización específica para poder ser utilizada, sólo necesita un navegador web y una conexión a internet. Además, las aplicaciones web son más escalables y se pueden utilizar en diferentes dispositivos ya que cuentan con un diseño adaptativo que se ajusta automáticamente al tamaño y el ancho de la pantalla del dispositivo que lo está viendo, lo que facilita su uso.

Otro beneficio es que las aplicaciones web son más seguras ya que no necesitan ser descargadas o instaladas, lo que disminuye el riesgo de virus o software malicioso. Además, las aplicaciones web son más fáciles de mantener y actualizar, ya que sólo necesitan ser actualizadas en un único lugar (el servidor) para que todos los usuarios tengan acceso a la última versión.

### Estructura de una aplicación Web

La estructura de una aplicación web puede variar dependiendo del lenguaje de programación y del framework utilizado, pero en general, suele incluir los siguientes componentes:

1. Front-end: Es la parte visible de la aplicación web, que el usuario interactúa directamente. Se construye utilizando lenguajes de marcas como HTML, CSS y JavaScript.
2. Back-end: Es la parte no visible de la aplicación web, que se encarga de procesar y almacenar la información. Se construye utilizando lenguajes de programación como PHP, Python, Ruby, entre otros.
3. Base de datos: Almacena y organiza la información de la aplicación web. Puede ser una base de datos relacional como MySQL, PostgreSQL o una base de datos no relacional como MongoDB.
4. Servidor web: Es el encargado de recibir las peticiones de los usuarios y proporcionarles las respuestas. Puede ser Apache, Nginx, IIS, entre otros.
5. API: Permite que diferentes partes de la aplicación web se comuniquen entre sí. Pueden ser RESTful o SOAP.
6. Controlador: Es el intermediario entre la vista y el modelo, se encarga de procesar las peticiones y las respuestas.
7. Modelo: Es el encargado de interactuar con la base de datos y proporcionar datos a la vista.
8. Vista: Es la interfaz gráfica que el usuario ve e interactúa con ella.

### HTML: comprensión de la estructura básica de una página web

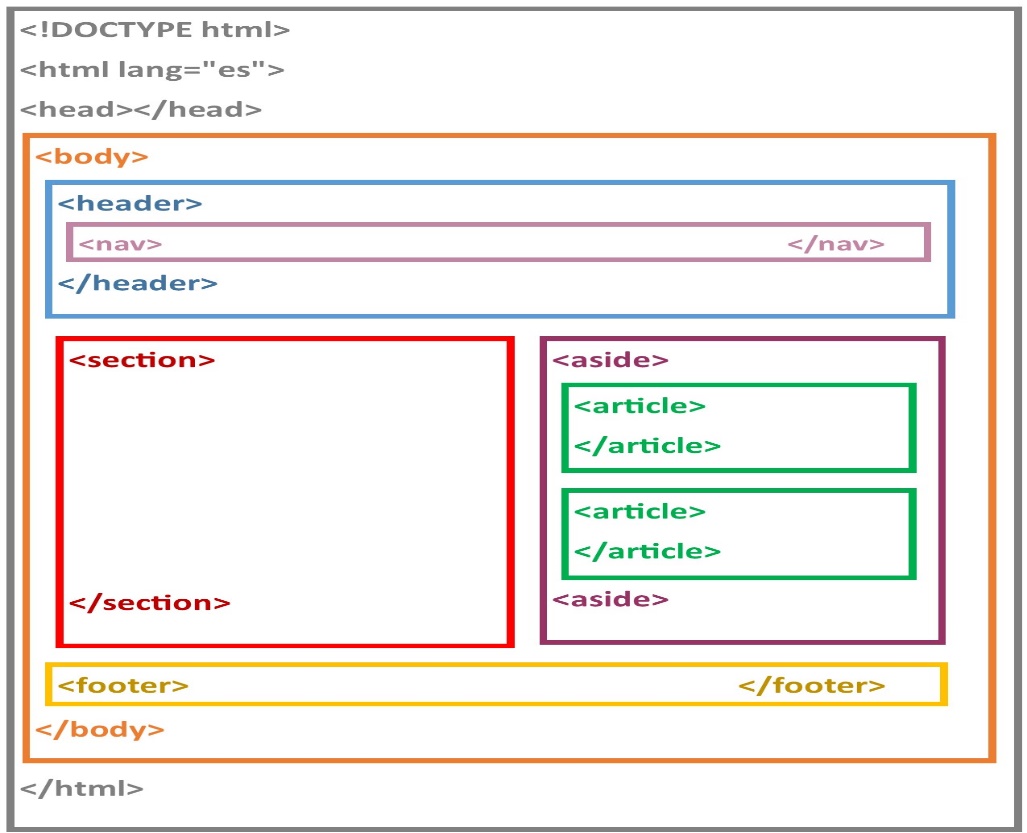
HTML (Hypertext Markup Language) es el lenguaje de marcas utilizado para crear y estructurar el contenido de una página web. Es una herramienta que se utiliza para definir la estructura de un documento, como encabezados, párrafos, listas, imágenes, enlaces y otros elementos. Además de estructurar el contenido, HTML también permite incluir atributos a las etiquetas para proporcionar información adicional sobre el elemento, como su tamaño, color, posición, etc.

Este lenguaje de marcado tiene una serie de características importantes, de acuerdo a MDN (1998 - 2023) “HTML consta de una serie de [elementos](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/Element) que se utilizan para encerrar o envolver diferentes partes del contenido para que se vea o actúe de cierta manera. Las [etiquetas](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/Tag) adjuntas pueden hacer que una palabra o imagen se vincule a otro lugar, pueden poner palabras en cursiva, pueden hacer que la fuente sea más grande o más pequeña, etc”.

En la figura 1 se puede observar la estructura de una página web, mediante el uso de etiquetas HTML.

**Figura 1**

*Estructura Básica de una Página Web y Etiquetas*



*Nota*. Sin autor. (2016, enero 7). HTML5 Estructura Básica de una página y etiquetas. Recuperado de <https://grafismodigital.wordpress.com/2016/01/07/html5-estructura-basica-de-una-pagina-y-etiquetas/>

### CSS: Estilo y diseño de un sitio web

CSS (Cascading Style Sheets) es el lenguaje utilizado para dar estilo y diseño a una página web. Es un lenguaje de hojas de estilo que se utiliza para definir la presentación visual de los elementos de una página web, como los colores, tipografías, tamaños y posiciones. Con CSS, los desarrolladores web pueden separar la presentación de la estructura del contenido, lo que permite una mayor flexibilidad y facilidad de mantenimiento en el desarrollo de sitios web.

Con el uso de CSS se da estilo y diseño a una página web mediante la aplicación de reglas o instrucciones a los elementos de la página. Estas reglas se aplican a través de selectores, que especifican a qué elementos se aplican.

En la figura número dos, se puede observar en la parte izquierda una página web que se encuentra estructura en solo HTML y no contiene ningún estilo, y alado se encuentra la misma página web, pero con una presentación visual más llamativa, debido al uso de hojas de estilo mediante el lenguaje CSS.

**Figura 2**

*Implementación de CSS en una página web*



### JavaScript: Interactividad y dinamismo de un sitio web

JavaScript es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y multiplataforma, diseñado para agregar interactividad y dinamismo a las páginas web. Es el lenguaje de programación más popular en el lado del cliente (del lado del usuario) y es utilizado para crear efectos visuales, validar formularios, crear elementos de navegación, crear programas de seguimiento y mucho más.

JavaScript es un lenguaje de programación de alto nivel, lo que significa que tiene una sintaxis similar a la del lenguaje humano, y es fácil de aprender y usar para desarrolladores con experiencia en otros lenguajes de programación.

### Python en el desarrollo web

Python se ha convertido en uno de los lenguajes de programación más populares en la actualidad, debido a su versatilidad y facilidad de uso. Según Foundation (2001-2023):

Python es un lenguaje de programación potente y fácil de aprender. Tiene estructuras de datos de alto nivel eficientes y un enfoque simple pero efectivo para la programación orientada a objetos. La sintaxis elegante y la tipificación dinámica de Python, junto con su naturaleza interpretada, lo convierten en un lenguaje ideal para secuencias de comandos y desarrollo rápido de aplicaciones en muchas áreas en la mayoría de las plataformas.

Python es ampliamente utilizado en el desarrollo web debido a su capacidad para crear aplicaciones web escalables y de alto rendimiento. Algunas de las características que lo hacen adecuado para el desarrollo web incluyen:

* Soporte para múltiples protocolos web: Python tiene una amplia variedad de módulos que lo hacen compatible con protocolos web estándar, como HTTP, FTP y SMTP.
* Frameworks web: Existen varios frameworks web populares como Django, Flask y Pyramid que se utilizan para desarrollar aplicaciones web utilizando Python.
* Integración con bases de datos: Python tiene una amplia variedad de bibliotecas de bases de datos, como SQLAlchemy, que permite integrar fácilmente aplicaciones web con bases de datos populares.
* Facilidad de aprendizaje y uso: La sintaxis elegante y la tipificación dinámica de Python, junto con su naturaleza interpretada, lo convierten en un lenguaje ideal para desarrollo rápido de aplicaciones web.
* Comunidad: Python cuenta con una gran comunidad de desarrolladores, lo que significa que hay una gran cantidad de recursos y documentación disponibles para ayudar a los desarrolladores a resolver problemas y mejorar sus habilidades.

### Flask: Un framework web ligero para Python

Flask es un marco web ligero para Python que permite a los desarrolladores crear aplicaciones web rápidamente y fácilmente. Es uno de los marcos web más populares en Python debido a su simplicidad y flexibilidad. Con Flask, puedes construir aplicaciones web complejas utilizando solo unas pocas líneas de código. Además, Flask no requiere configuración previa, por lo que puedes comenzar a desarrollar tu aplicación de inmediato.

Algunas de las funciones principales que ofrece Flask son:

Manejo de rutas: Flask permite definir rutas URL para las diferentes secciones de una aplicación web.

Manejo de peticiones HTTP: Flask maneja las peticiones HTTP recibidas por una aplicación web y las envía a las rutas correspondientes.

Plantillas: Flask permite utilizar plantillas para crear la interfaz de usuario de una aplicación web de manera fácil y rápida.

Manejo de sesiones: Flask tiene un sistema de manejo de sesiones que permite almacenar información en el lado del servidor entre diferentes peticiones del usuario.

Extensión: Flask es altamente extensible, lo que significa que se pueden añadir diferentes funciones y características a través de extensiones o paquetes.

Debug: Flask cuenta con un modo de depuración integrado que permite detectar errores y problemas en una aplicación de manera rápida.

Manejo de bases de datos: Flask no tiene una capa de abstracción de base de datos, pero puede trabajar con cualquier ORM o librería de base de datos que desees usar.

Manejo de Request y Response: Flask ofrece objetos para manejar y crear respuestas HTTP y manejar las peticiones HTTP recibidas.

# Metodología

La metodología utilizada en esta tesis se enfocó en el desarrollo de una aplicación web para los manuales de capacidad y nivel de servicio de Colombia y los manuales HCM de dos carriles y multicarril. La aplicación fue desarrollada en Python utilizando el marco Flask, y se diseñó con un formulario para cada manual. Al completar este formulario, la aplicación realiza cálculos internos y proporciona un resumen de los resultados obtenidos al aplicar las metodologías de estos manuales. Además, proporciona un paso a paso de cómo se obtuvieron estos resultados y un análisis de sensibilidad que muestra cómo varían los resultados si se cambian ciertas variables dentro de un rango específico.

Esta metodología permite a los usuarios obtener una comprensión detallada de los cálculos y resultados obtenidos en los manuales de capacidad y nivel de servicio, y puede ser utilizada para mejorar la planificación y diseño de carreteras en Colombia.

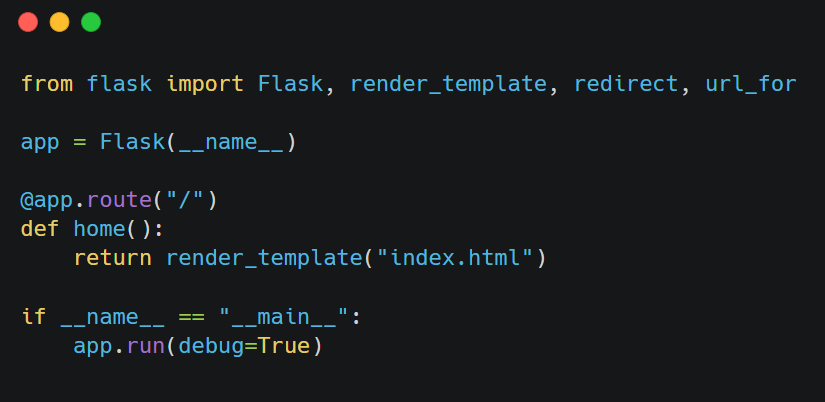
El procedimiento de programación realizado de forma general se explica a continuación:

## Paso 1. Uso de Python y Flask

Para iniciar una página web con Flask, se crea un archivo tipo Python, en este caso se denomina “main.py”, el cuál será el archivo donde se controlará el funcionamiento general de la aplicación web. Seguido a esto en la terminal del editor Visual Studio Core denominado desde ahora como VSC, se instala Flask ejecutando el comando "pip install flask", y se inserta el código que se observa en la figura 3, cuya función es importar las librerías necesarias y funciones de Flask, además de realizar las configuraciones para la ruta de inicio, el archivo HTML que se va a renderizar, y configuración para que el servidor inicie en modo debug, que permite observar los cambios en el código en tiempo real sin necesidad de reiniciar el servidor y también ofrece información de errores que se pueden presentar durante la ejecución del programa.

**Figura 3**

*Código para dar inicio a una aplicación web utilizando Flask.*



## Paso 2. Archivo Python auxiliar

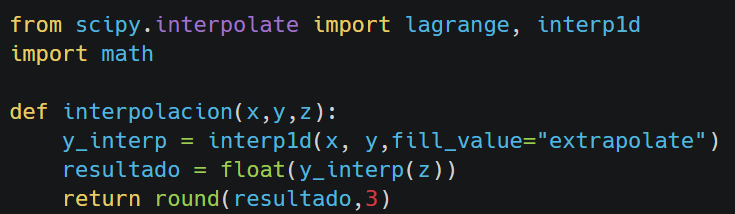
Teniendo en cuenta que cada manual aplica una metodología diferente, es conveniente en la carpeta del proyecto crear un archivo Python (archivo.py) para cada manual, en donde se realizarán los cálculos y procedimientos necesarios según las instrucciones de los manuales.

En este archivo también se importan algunas librerías y funciones necesarias en el desarrollo del procedimiento. La figura 4 presenta la estructura de la función interpolación que será utilizada en los procedimientos y la cuál permite obtener un valor intermedio entre dos puntos dados en un conjunto de datos. La función toma como entrada dos arreglos: uno con los valores de x y otro con los valores de y, y devuelve una función que puede ser utilizada para calcular el valor de y para un valor dado de x.

Un arreglo o lista en Python es una colección ordenada de diferentes elementos, delimitados por dos llaves. Por ejemplo, el **arreglo1** = [1,2,5,4], es similar a una fila o columna de datos que contiene los elementos 1, 2, 5, 4.

**Figura 4.**

*Función de interpolación lineal.*



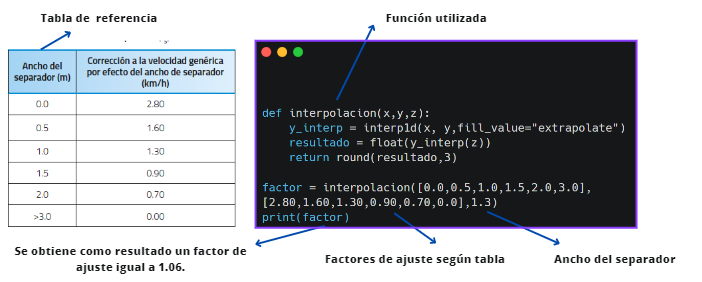
La función interpolación es muy importante en el funcionamiento general de la aplicación, ya que cada manual contiene diferentes tablas las cuáles a partir de valores de entrada, proporcionan un valor o factor que se utilizará en cada procedimiento.

La figura 5 presenta una tabla que permite determinar el factor de corrección a la velocidad genérica por efecto del ancho de separador, a partir el valor de ancho del separador. Cuando el valor de ancho de separador no se encuentra dentro de los valores de entrada que otorga la tabla es necesario realizar una interpolación. Mediante el uso de función interpolación que se mostro previamente, es sencillo determinar un factor de ajuste preciso para un valor de entrada. En la parte derecha de la figura 5 se observa cómo se hace el llamado a la función “interpolación”, se insertan los arreglos que contienen los datos de las dos columnas y el valor que se desea interpolar.

El resultado del llamado a la función en el ejemplo se guarda dentro de la variable, esto permite poder acceder a este valor “factor”, y al utilizar la función “print” con la variable “factor”, se podrá observar en la terminal de VSC, el resultado que proporciona la función interpolación. Este método es utilizado en los diferentes manuales, en las partes donde se necesite extraer información de tablas y realizar interpolaciones.Principio del formulario

**Figura 5**

*Ejemplo de uso de la función “interpolación”*



## Paso 3. Información necesaria para cada manual

El procedimiento establecido en los diferentes manuales, indica que, para el cálculo de la Capacidad y Nivel de servicio de una infraestructura vial, es necesario introducir los datos correspondientes a la información relacionada con la geometría de la vía e información relacionada con la demanda de tránsito. Para insertar estos valores, se utilizan formularios en donde el usuario final recibe información e instrucciones, para el ingreso adecuado de los datos requeridos según sea la metodología que se esté evaluando.

Para el diseño de los formularios se utiliza la extensión de Flask de nombre “Flask-WTF”, la cual proporciona una forma fácil y segura de manejar formularios en una aplicación web. Flask-WTF proporciona una clase llamada FlaskForm que se utiliza para crear formularios y provee de una interfaz para validar campos, mostrar errores de validación, proteger contra ataques CSRF (Cross-Site Request Forgery) y generar HTML para los formularios.

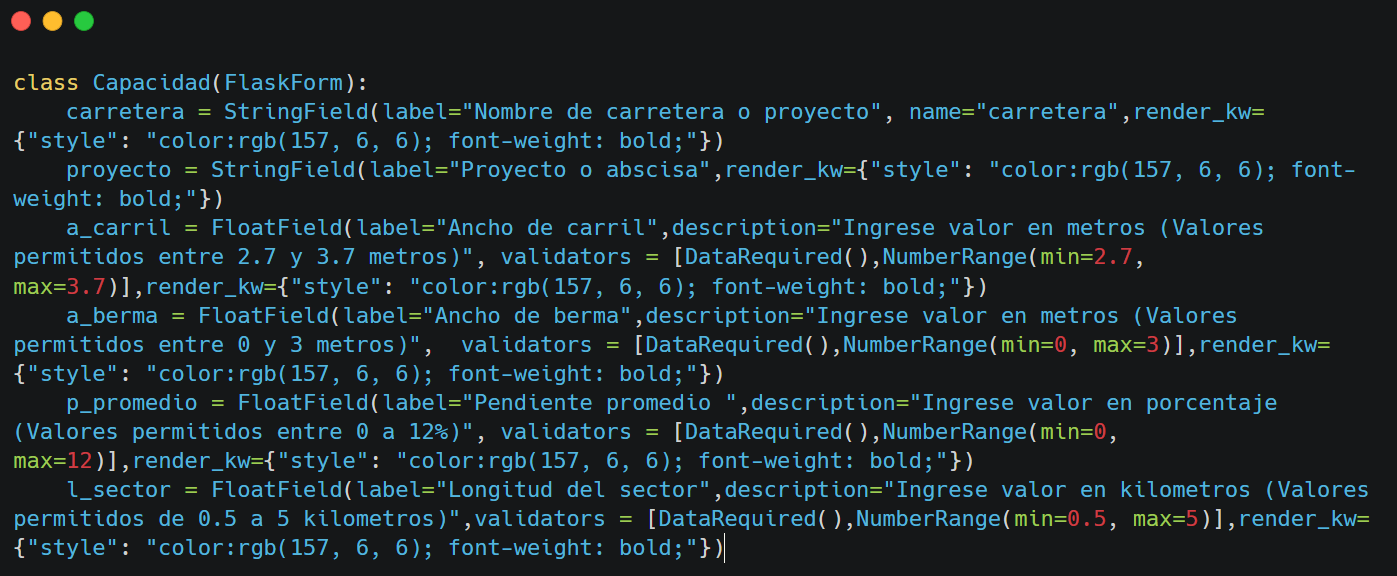
En la figura 6 se puede observar una parte de la estructura del formulario diseñado para el manual de Capacidad y Nivel de Servicio para vías de dos carriles, mediante el uso del método colombiano. El formulario tiene cinco campos:

* carretera: Es un campo de tipo StringField con una etiqueta "Nombre de carretera o proyecto", un atributo name="carretera" y un atributo render\_kw para darle estilo al campo.
* proyecto: Es un campo de tipo StringField con una etiqueta "Proyecto o abscisa" y un atributo render\_kw para darle estilo al campo.
* a\_carril: Es un campo de tipo FloatField con una etiqueta "Ancho de carril", una descripción "Ingrese valor en metros (Valores permitidos entre 2.7 y 3.7 metros)", un validador DataRequired() y un validador NumberRange() para validar que el valor ingresado esté entre 2.7 y 3.7 metros.
* a\_berma: Es un campo de tipo FloatField con una etiqueta "Ancho de berma", una descripción "Ingrese valor en metros (Valores permitidos entre 0 y 3 metros)", un validador DataRequired () y un validador NumberRange () para validar que el valor ingresado esté entre 0 y 3 metros.
* promedio: Es un campo de tipo FloatField con una etiqueta "Pendiente promedio", una descripción "Ingrese valor en porcentaje (Valores permitidos entre 0 a 12%)", un validador DataRequired.

Luego de crear un formulario en flask, se utiliza el método render\_template () de Flask, el cual permite renderizar un archivo HTML y pasar variables para ser utilizadas en HTML. En la figura 7, se puede observar el diseño del formulario que deben completar los usuarios.

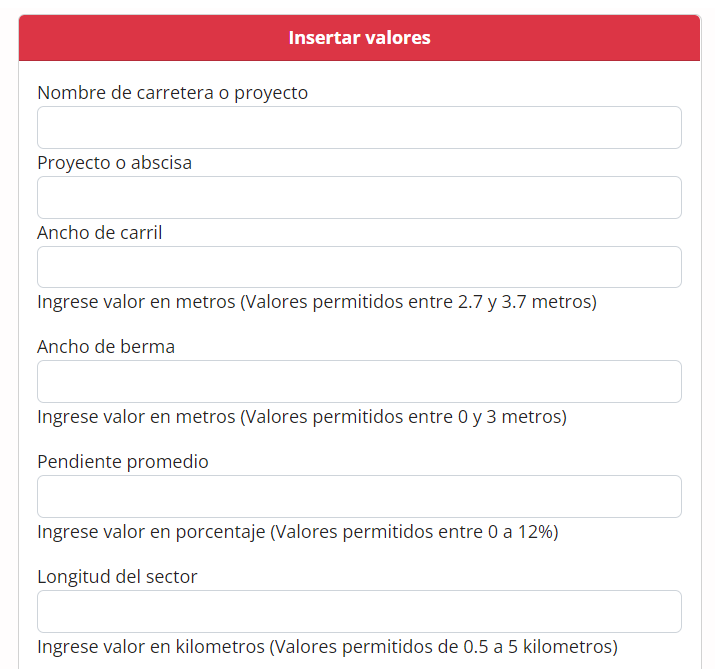
**Figura 6.**

*Estructura de un formulario utilizando Flask-WTF*



**Figura 7.**

*Resultado final de formulario en HTML*

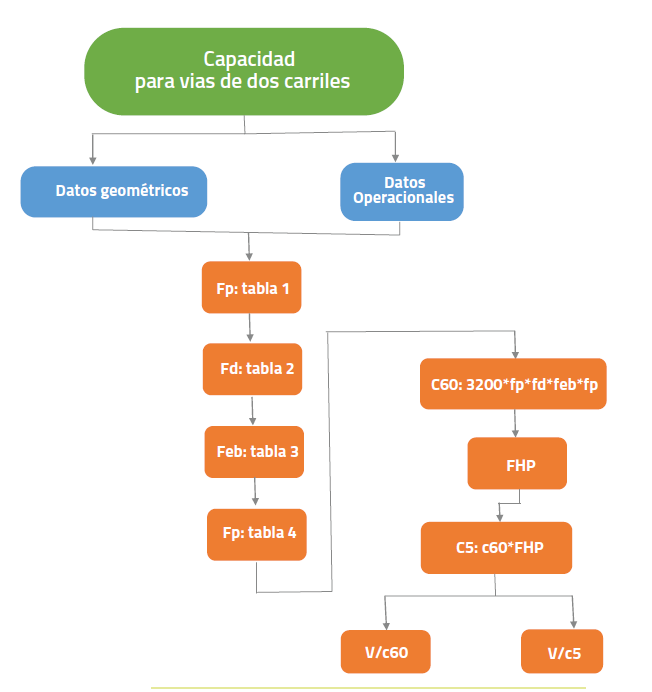


## Paso 4. Uso de la información recolectada en los formularios

En los documentos oficiales para cada uno de los manuales, se encuentra la información relacionada para cada manual. Las figuras 8, 9, 10, 11, 12 son representaciones del procedimiento que se debe llevar a cabo para el cálculo de Capacidad y Niveles de servicio de una infraestructura vial.

**Figura 8**

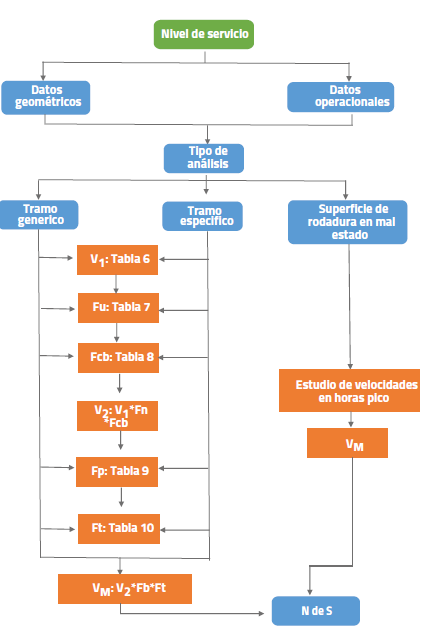
*Procedimiento para el cálculo de la Capacidad de una vía de dos carriles con el método colombiano.*



*Nota*. Sin autor. (2016, enero 7). HTML5 Estructura Básica de una página y etiquetas. Recuperado de <https://grafismodigital.wordpress.com/2016/01/07/html5-estructura-basica-de-una-pagina-y-etiquetas/>

**Figura 9**

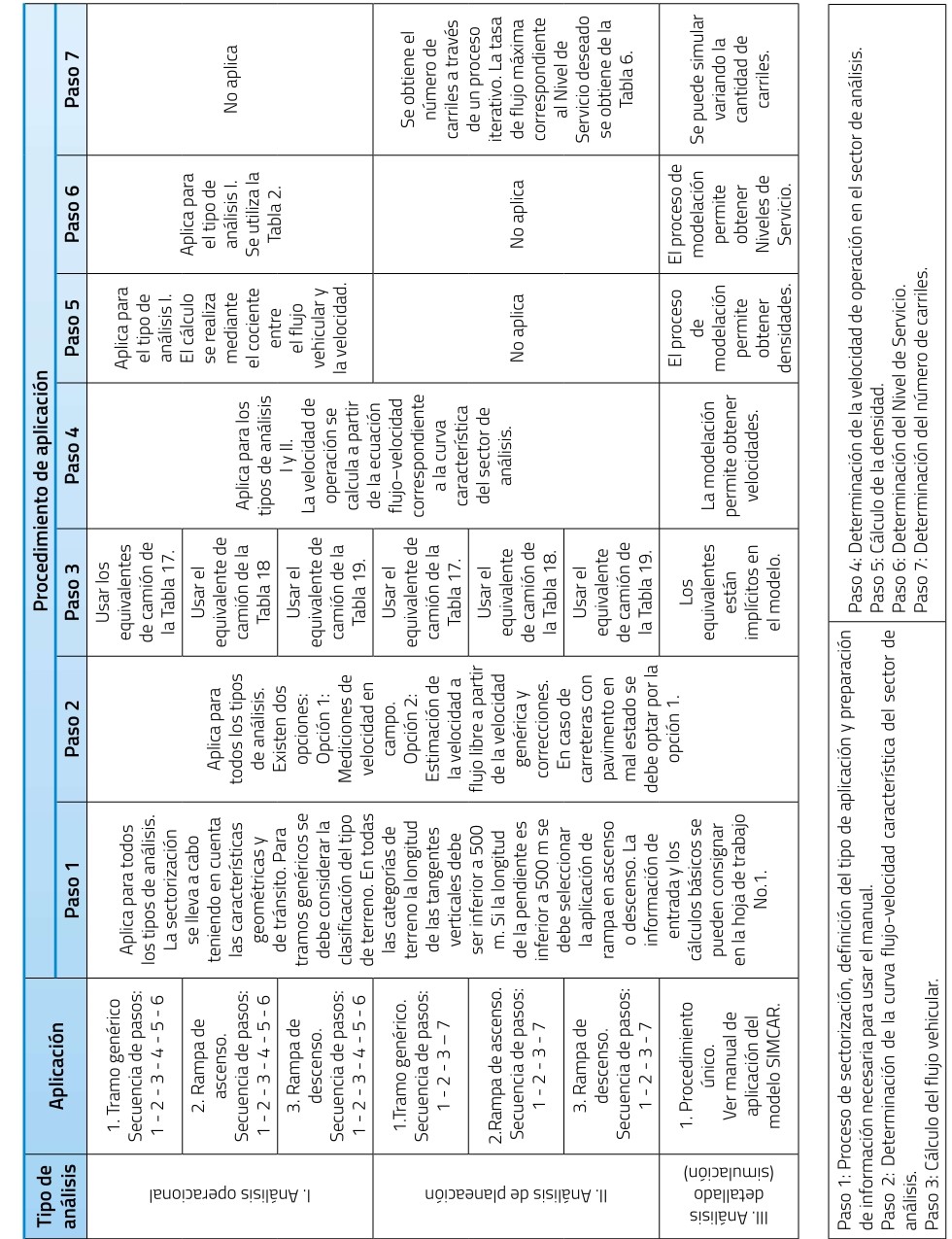
*Procedimiento necesario para determinar el Nivel de servicio de una vía de dos carriles según el método colombiano.*



Nota

**Figura 10**

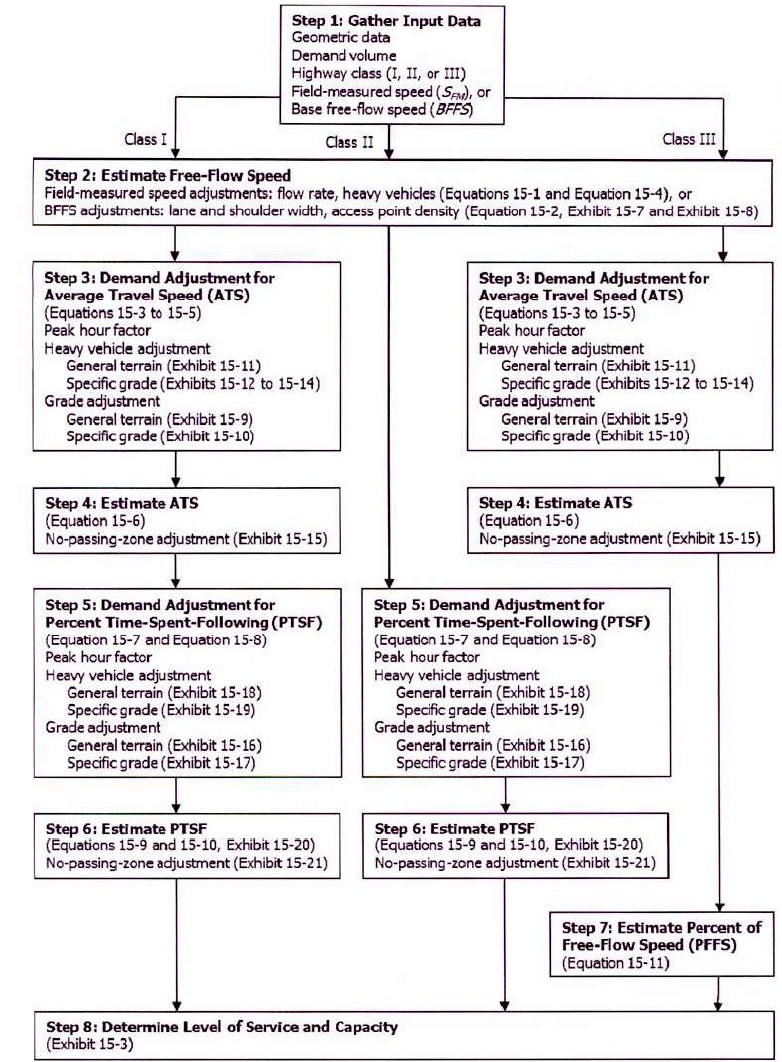
*Descripción de pasos requeridos para los análisis de capacidad y Niveles de servicio con metodo colombiano.*



Nota

**Figura 11**

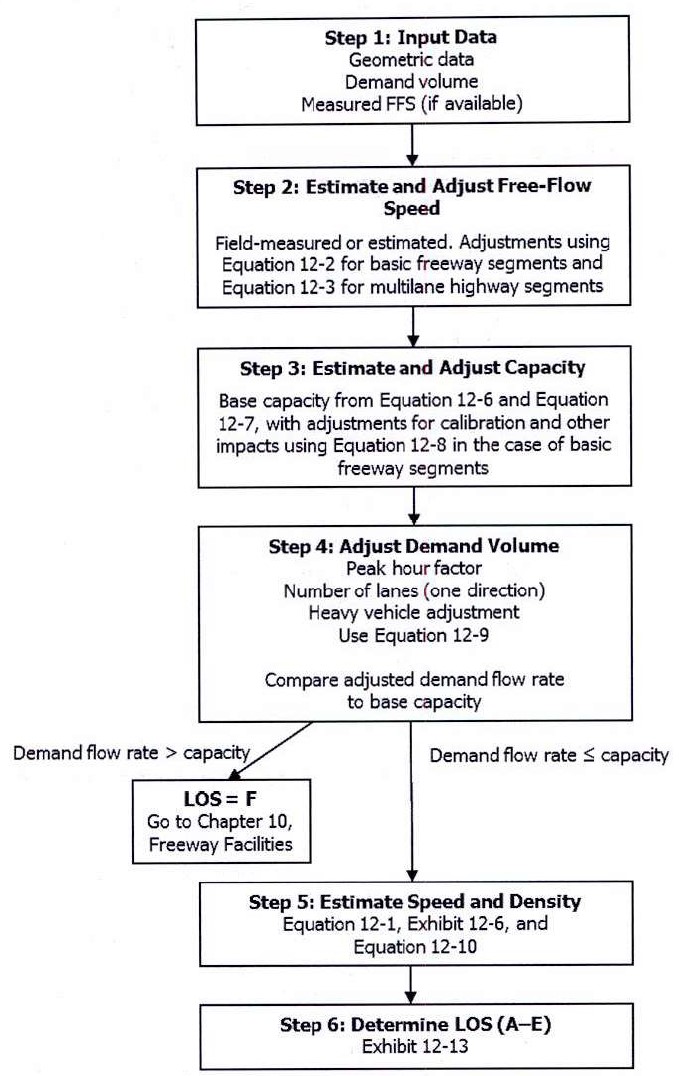
*Diagrama de procedimiento planteado en el manual HCM, para vías multicarril.*



Nota

**Figura 12**

*Diagrama de procedimiento planteado en el manual HCM, para vías multicarril.*



Nota

Para hacer los procedimientos presentados en las metodologías anteriores, en Python se crean diferentes funciones similares a la función explicada llamada “interpolación”. Al realizar estas funciones independientes se puede reutilizar el código en diferentes, se puede dividir el programa en bloques y el código se vuelve más fácil de entender y mantener.

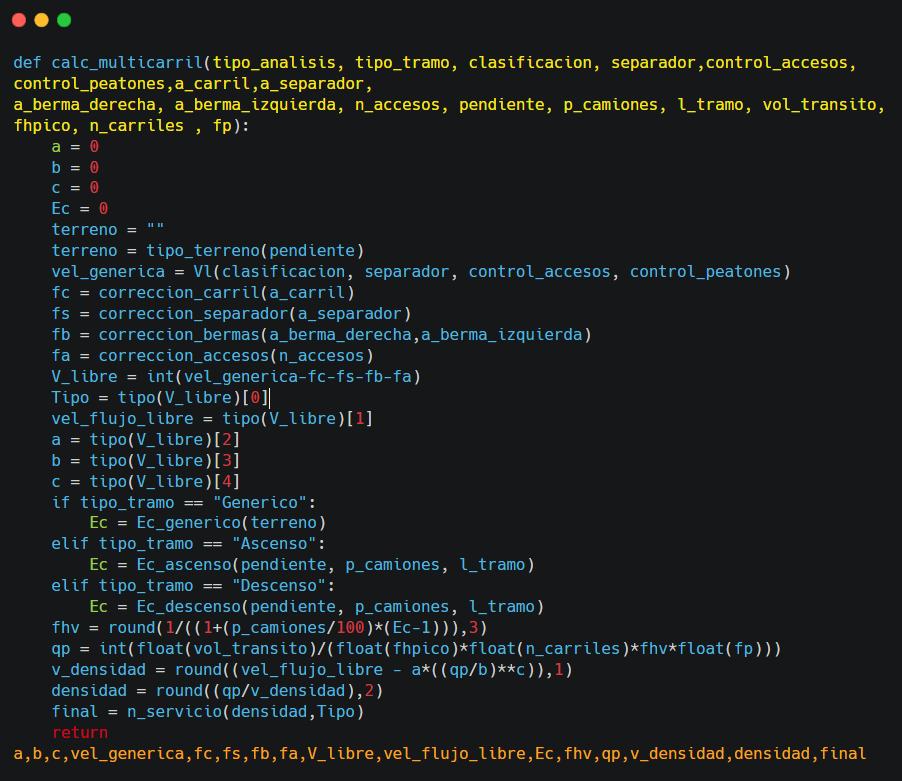
La figura 13 ilustra un ejemplo de una función creada, la cual recibe varios parámetros, como el tipo de análisis, tipo de tramo, clasificación, ancho de berma, pendiente, volumen, entre otros. Estos parámetros se proporcionan a la función a través de la información que el usuario ha registrado en los formularios. Luego, los datos de entrada son reutilizados en el interior de la función principal, como parámetros para funciones específicas.

Luego de realizar todo el proceso y obtener una gran cantidad de resultados que ofrece la función principal, se debe pasar toda esta información a la plantilla HTML, en donde se mostrará el procedimiento realizado y los resultados finales obtenidos a partir de la aplicación del método. Para realizar este proceso, los datos ingresados por el usuario y los resultados finales otorgados por la función, se insertan dentro de una base de datos como un registro único, de tal forma que la información queda empaquetada y disponible para su consulta en cualquier momento. De esta manera, se garantiza la persistencia y la disponibilidad de los datos que luego se pueden extraer y almacenar dentro de una variable, la cuál a su vez se puede enviar a HTML donde será mas fácil la extracción y renderización de la información.

El proceso de uso de datos se realiza con el uso de SQLAlchemy, la cuál es una librería de Python que proporciona una interfaz de alto nivel para trabajar con bases de datos relacionales. Se utiliza comúnmente con Flask para conectar una aplicación Flask con una base de datos y realizar operaciones CRUD (crear, leer, actualizar y eliminar) en los datos.

**Figura 13**

Ejemplo de función principal para ellos análisis de Capacidad y Niveles de servicio para carreteras de dos carriles, método colombiano.



## Paso 5. Resultados y Procedimiento Realizado

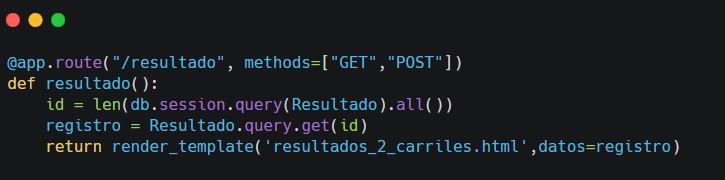
Luego de realizar los pasos anteriores, la aplicación se encuentra diseñada para entregar un informe final al usuario con los datos ingresados, resultados obtenidos y un procedimiento paso a paso que explica las ecuaciones, tablas y cálculos aplicados según la metodología del manual requerido. Para realizar todo este proceso, mediante HTML se realiza el diseño de una página de resultados obtenidos, la cuál utiliza los valores previamente añadidos a la base de datos.

Para mostrar la información obtenida en Python en HTML, se utilizan las plantillas de Jinja2, que son una herramienta de la librería de Flask que permite incluir fragmentos de código Python en el código HTML. Para utilizar plantillas de Jinja2, en la carpeta principal del proyecto se crea una carpeta con el nombre “templates” en donde se alojarán los archivos HTML que se requieran en el proyecto.

Cuando un usuario completa el formulario y presiona la opción de Calcular Capacidad y Nivel de Servicio, la aplicación recibe la información, realiza los cálculos necesarios, guarda toda la información en la base de datos y realiza un llamado a una función que proporciona los resultados. En la figura 14, se observa la estructura de la función resultado, cuya función es obtener la información del último registro de la tabla “Resultado” en la base de datos, y guarda toda esta información de la variable datos. Finalmente, se utiliza el método render\_template para renderizar la plantilla "resultados\_2\_carriles.html" y pasar la información del registro obtenido mediante el argumento datos. Es importante mencionar que se debe tener un archivo con ese nombre en la carpeta templates, y además se ha de tener una tabla con el nombre Resultado en la base de datos.

**Figura 14**

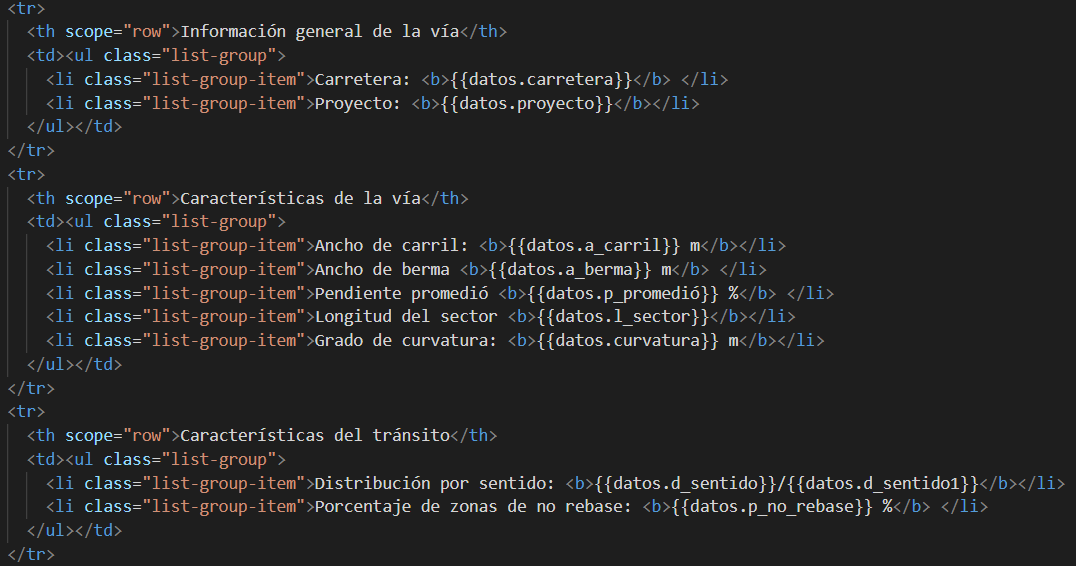
*Envío de información obtenida en Python a la plantilla de HTML*



En el archivo HTML, se pueden utilizar las variables de Python mediante el uso de llaves dobles, como {{variable}}. Por ejemplo, la figura 15 muestra como en el archivo nombrado como “resultados\_2\_carriles.html” se extraen las variables del último registro que se paso con el argumento datos. El texto que va seguido de datos y el punto, es el valor que se desea extraer del registro y que se desea mostrar.

**Figura 15**

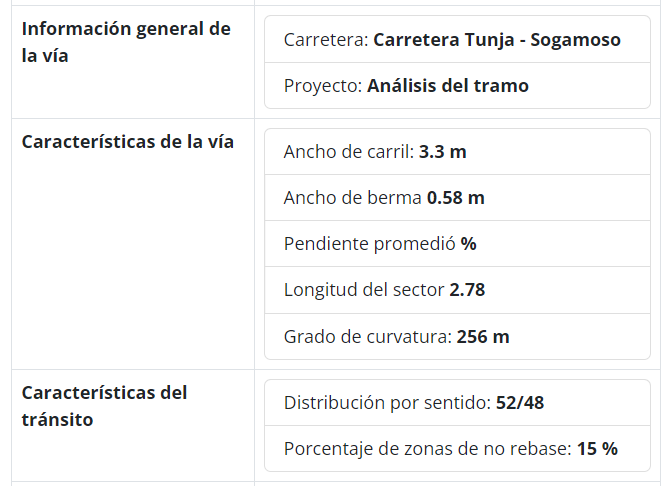
*Extracción y renderizado de información en HTML.*



En la figura 16 se puede observar el resultado que va a observar el usuario, de acuerdo al código presentado en la figura 15, luego de completar el formulario. De esta forma se realiza el procedimiento y el informe final, en donde se presenta un paso a paso con los datos ingresados por el usuario, de tal forma que se proporciona un documento personalizado, con resultados precisos e información útil para las personas, que van a comprender la metodología aplicada en el manual.

**Figura 16**

*Ejemplo de resultado obtenido*



## Paso 6. Análisis de Sensibilidad

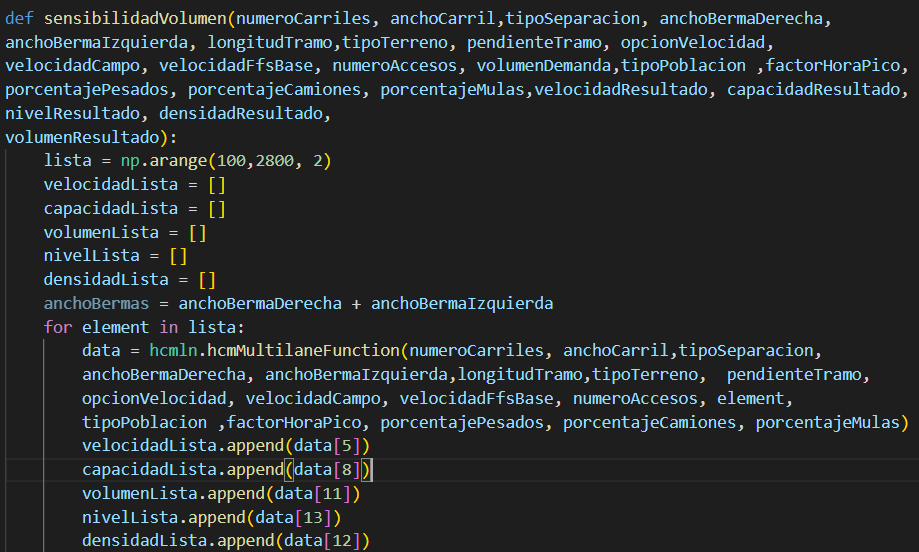
En un análisis de sensibilidad, se varían los valores de las variables de entrada dentro de un rango específico y se observa cómo estos cambios afectan a los resultados finales. El objetivo es identificar los parámetros críticos y su rango de variación más importante para el sistema o modelo en cuestión.

Los manuales y metodologías que utiliza la aplicación requieren una gran cantidad de variables de entrada, como ancho de carril, ancho de berma, pendiente, volúmenes, entre otros, por lo que es de gran utilidad realizar análisis de sensibilidad que permitan determinar el efecto que produce la variación de los valores de entrada con respecto a la Capacidad, Niveles de Servicio u otras variables de interés.

Ya que previamente se creó una función principal la cuál recibe diferentes argumentos y como resultado proporciona los resultados deseados, para realizar un análisis de sensibilidad de una variable de entrada, se realiza un llamado a la función donde se varía únicamente el parámetro de la variable y se dejan constantes los demás, luego se extraen y guardan los valores de interés dentro de un arreglo.

**Figura 17**

*Procedimiento general de un análisis de Sensibilidad*



En la figura 17se muestra el uso de la función “sensibilidadVolumen”, la cual se utiliza para realizar un análisis de sensibilidad del volumen de tráfico en un tramo de carretera. Recibe como parámetros una serie de variables relacionadas con el tramo de carretera y el tráfico, como el número de carriles, el ancho de carril, el tipo de separación, el ancho de las bermas, la longitud del tramo, el tipo de terreno, la pendiente, la velocidad, entre otros.

La función crea un arreglo con valores de volumen de tráfico desde 100 hasta 2800, con un incremento de 2 en cada valor. Luego, utiliza un ciclo for para iterar sobre esta lista y en cada iteración, se llama a la función principal creada para el manual HCM multicarril denominada “hcmln.hcmMultilaneFunction”, que recibe los mismos parámetros que sensibilidadVolumen, más el volumen de tráfico de cada iteración. La función “hcmln.hcmMultilaneFunction” devuelve una serie de datos, como la velocidad, la capacidad, el volumen, el nivel de servicio y la densidad del tráfico. Estos datos se almacenan en listas diferentes para cada uno de los parámetros.

Luego de ejecutar esta función se tiene una lista de como varia un parámetro (en este caso el volumen de tráfico) en relación a los demás parámetros. Al almacenar los resultados obtenidos en cada iteración en una lista se tiene una gran cantidad de datos almacenados, que se debe proporcionar a los usuarios, y la mejor forma de hacerlo es mediante el uso de gráficas que muestre el efecto que produce el cambio en la variable analizada.

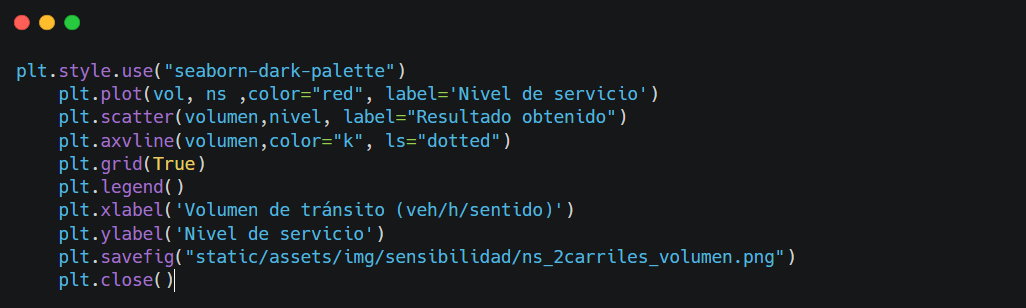
## Paso 7. Gráficas para el análisis de Sensibilidad

Una lista o arreglo en Python puede ser utilizada para almacenar los datos de una columna específica de una tabla, en donde cada elemento de la lista representa una fila de esa columna en particular. Es usual que, para analizar el comportamiento de los datos de diferentes columnas, se utilicen gráficas para representarlos visualmente. En Python, estas gráficas se pueden hacer fácilmente mediante el uso de la biblioteca Matplotlib. Con esta biblioteca, se pueden generar una variedad de gráficos, como líneas, barras, entre otros, que permiten visualizar de manera clara y sencilla los datos contenidos en las listas o arreglos. En resumen, utilizar listas o arreglos en Python para almacenar datos y utilizar Matplotlib para crear gráficos, es una excelente forma de analizar y presentar información de manera eficiente.

La función presentada en la figura 18, utiliza la librería Matplotlib para crear una gráfica de línea que muestra la variación del nivel de servicio en función del volumen de tránsito. Se establece el estilo de la gráfica utilizando "seaborn-dark-palette" y se utilizan dos arreglos (vol, ns) para los datos de x e y respectivamente. Se utiliza el método plt.plot para crear la línea de la gráfica, plt.scatter para crear un punto en la gráfica en el punto donde se encuentra el resultado obtenido, plt.axvline para crear una línea vertical en el punto donde se encuentra el resultado obtenido, plt.grid para habilitar las líneas de cuadrícula, plt.legend para habilitar la leyenda de la gráfica y plt.xlabel y plt.ylabel para establecer los nombres de los ejes. Finalmente se utiliza el método plt.savefig para guardar la imagen de la gráfica en una ruta específica y plt.close para cerrar la gráfica.

**Figura 18**

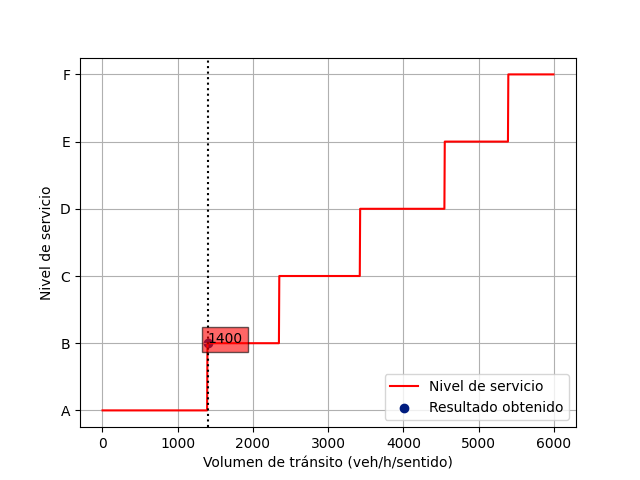
*Código utilizado para elaboración de una gráfica en Python usando Matplotlib*



Las figuras 19 y 20 son gráficas de ejemplo creada en Python con el uso de Matplotlib. Así como se realizó esta ilustración de ejemplo, la aplicación esta diseñada para realizar iteraciones y crear gráficas que representan el efecto producido por el cambio de valores en las variables de entrada

**Figura 19**

*Variación del nivel de servicio de una vía al variar el volumen de tránsito*



**Figura 20**

*Variación del nivel de la Capacidad de una vía al variar el porcentaje de camiones que transita en ella.*

