

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Microsimulación de tráfico en el sector de Pedro Menéndez y  
Carlos Plaza Dañin

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Logística y Transporte**

Presentado por:

García Infante Cristhian Sebastián

Vaca Franco John Jairo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2022

## DEDICATORIA

Dedico tanto este proyecto como la culminación de mi carrera a mi madre Ana Infante por ser la persona que durante toda esta etapa de mi vida me ha apoyado, aconsejado y soportado como nadie más. Agradecer a mi abuela Cecilia Díaz por brindarme su apoyo absoluto en cada cosa que me he propuesto y a mis tíos Danny García y Ángel Infante por siempre velar por mi bienestar sin importar el tiempo o la distancia. También agradecer al resto de mi familia por estar ahí siempre para mí sin ninguna restricción. Quisiera agradecer a mi novia Natalia Álvarez por siempre ser un foco de inspiración para mí por su fuerza y su temple, finalmente a mi compañero de tesis por todo el apoyo y esfuerzo dedicado en este trabajo.

*Cristhian Sebastián García Infante*

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a Dios por darme la fuerza e inteligencia necesaria en este largo trayecto. A mis padres, Margarita Franco y Eloy Vaca, por ser ese soporte en los momentos más difíciles, dándome sus apoyos y motivaciones durante toda esta etapa universitaria. A mi hermana, Marjorie Vaca, quien me supo guiar por buen camino, quien me daba consejos con mucha frecuencia, siendo parte importante en este logro. Por último, a mi compañero de tesis, por la dedicación y profesionalismo puesto en este proyecto.

*John Jairo Vaca Franco*

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), por acogernos por muchos años, una institución universitaria de muy alto prestigio, quien con todos sus docentes y colaboradores nos preparó como excelentes profesionales. A nuestro coordinador de carrera, el M.Sc. Carlos Ronquillo, quien siempre estuvo al pendiente de cada uno de nosotros, dándonos consejos y recomendaciones a lo largo de la carrera. A nuestro Tutor, el Ph.D. Erwin Delgado, quien siempre estuvo presto en ayudarnos en cualquier momento que lo necesitábamos, dándonos recomendaciones con mucha frecuencia. Por último, a cada uno de los docentes, quienes nos transmitieron sus conocimientos y estrategias en el campo de la carrera, para ser unos profesionales de excelencia.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Cristhian Sebastián García Infante* y *John Jairo Vaca Franco* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

Autor 1



---

Autor 2

## **EVALUADORES**

---

**M.Sc. Carlos Ronquillo**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Ph.D. Erwin Delgado**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

INRIX (2021) basado en un estudio post pandemia en 2021, afirma que la ciudad de Guayaquil es la segunda ciudad con más tráfico del país, en la que se pierde en promedio cuarenta y siete horas al año en tráfico por persona. Guayaquil actualmente cuenta con varios proyectos inmobiliarios, como son el conjunto de edificios The Hills y el rascacielos Maximus en el Puerto Santa Ana. Estos proyectos ocasionarán un aumento en la densidad habitacional en el Puerto Santa Ana, y un incremento en la cantidad de vehículos, lo que traerá consigo un problema de congestión vehicular en el sector, debido al alto flujo de vehículos que actualmente circulan por este sector. Es por ello, que el presente estudio pretende analizar impacto vehicular que se tiene por la construcción de uno o varios edificios en el Puerto Santa Ana, mediante un software de microsimulación. Para cumplir con los objetivos, se generó una microsimulación por computadora usando datos reales del tráfico actual, y luego se lo comparó con dos escenarios. En el escenario uno y dos se estimó la cantidad de vehículos que se incrementarán en el sector por la construcción de uno y dos edificios respectivamente. Como resultados se obtuvo que la situación actual cuenta con un flujo vehicular que no ocasiona que las vías se congestionen. El escenario uno generó tráfico vehicular, a tal punto que casi congestionó la vía. El escenario dos generó una congestión vehicular en la vía que no permite el paso de otros vehículos. En conclusión, se tiene un posible problema en la red vial a futuro, en la que se generarán enormes colas de vehículos, por el aumento de nuevos vehículos en la red vial de la zona de estudio, debido a los nuevos proyectos inmobiliarios.

**Palabras Clave:** Microsimulación, Congestión Vehicular, Proyectos Inmobiliarios, Red Vial.

## **ABSTRACT**

*INRIX (2021) based on a post-pandemic study in 2021, states that the city of Guayaquil is the second city with the most traffic in the country, in which an average of forty-seven hours a year is lost in traffic per person. Guayaquil currently has several real estate projects, such as The Hills building complex and the Maxximus skyscraper in Puerto Santa Ana. These projects will cause an increase in housing density in Puerto Santa Ana, and an increase in the number of vehicles, which will bring with it a problem of vehicular congestion in the sector, due to the high flow of vehicles that currently circulate in this sector. For this reason, this study aims to analyze the vehicular impact of the construction of one or more buildings in Puerto Santa Ana, using microsimulation software. To meet the objectives, a computer microsimulation was generated using real current traffic data, and then compared to two scenarios. In scenarios one and two, the number of vehicles that will increase in the sector due to the construction of one and two buildings, respectively, was estimated. As results, it was obtained that the current situation has a vehicular flow that does not cause the roads to become congested. Scenario one generated vehicular traffic, to the point that it almost congested the road. Scenario two generated vehicular congestion on the road that does not allow the passage of other vehicles. In conclusion, there is a possible problem in the road network in the future, in which huge queues of vehicles will be generated, due to the increase in new vehicles in the road network of the study area, due to new real estate projects.*

**Keywords:** *Microsimulation, Vehicular Congestion, Real Estate Projects, Road Network.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
1.4 Marco teórico .....	6
1.4.1 ANTECEDENTES: Estado del Arte.....	6
1.4.2 BASE TEÓRICA .....	9
1.4.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	11
CAPÍTULO 2 .....	15
2. METODOLOGÍA .....	15
2.1 Enfoque de la investigación.....	16
2.1.1 Levantamiento de información .....	16
2.1.2 Análisis de la información levantada: Situación Actual.....	19
2.2 Recolección de los datos.....	27
2.2.1 Datos en el punto 1 .....	27

2.2.2	Datos en el punto 2.....	28
2.2.3	Datos en el punto 3.....	29
2.2.4	Datos en el punto 4.....	30
2.2.5	Datos en el punto 5.....	31
2.2.6	Datos en el punto 6.....	32
2.2.7	Datos en el punto 7.....	33
2.2.8	Datos en el punto 8.....	34
2.2.9	Datos en el punto 9.....	35
2.2.1	Datos en la entrada y salida del Puerto Santa Ana.....	37
2.3	Selección de recursos.....	37
2.4	Descripción del modelo de micro simulación.....	38
2.4.1	Variables del modelo de micro simulación.....	38
2.5	Uso de Software.....	44
2.5.1	PTV Vissim.....	44
2.5.2	Microsoft Excel.....	44
2.5.3	Google Maps.....	45
2.6	Calibración del modelo de micro simulación.....	45
2.6.1	Número de simulaciones.....	45
2.6.2	Estadístico GEH.....	49
2.7	Consideraciones éticas y legales.....	54
2.7.1	Norma Ecuatoriana vial NEVI-12.....	54
2.7.2	Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito Y Seguridad Vial.....	55
2.7.3	Ley de Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre.....	55
2.8	Fases del proyecto.....	56
2.9	Cronograma de trabajo.....	58
CAPÍTULO 3.....		60
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	60

3.1	Parámetros de evaluación.....	60
3.2	Análisis y resultados de la situación actual.....	61
3.2.1	Análisis y resultados del tiempo de viaje para la situación actual.....	61
3.2.2	Análisis y resultados del tamaño de cola vehicular para la situación actual 63	
3.2.3	Ciclo semafórico actual.....	64
3.3	Análisis y resultados de la situación propuesta: dos escenarios.....	65
3.3.1	Estimación de nuevo flujo vehicular.....	65
3.3.2	Escenario 1: incorporación de un rascacielos.....	71
3.3.3	Escenario 2: incorporación de dos rascacielos.....	80
3.4	Análisis de costos.....	91
3.5	Entregables.....	93
CAPITULO 4.....		94
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	94
4.1	CONCLUSIONES.....	94
4.2	LIMITACIONES.....	95
4.3	RECOMENDACIONES.....	96
Bibliografía.....		98

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ATM	Autoridad de Tránsito Municipal de Guayaquil
SOLCA	Sociedad de Lucha Contra el Cáncer
DLT	Displaced Left Turn
PTV	Planung Transport Verkehr
ITB	Instituto Tecnológico Bolivariano
NEVI	Normativa Ecuatoriana Vial
GEH	Geoffrey E. Havers

## SIMBOLOGÍA

m	Metros
Km	Kilómetro
N	Número de simulaciones
$\partial$	Desviación estándar de respuestas a analizar 50 simulaciones
Z	Estadístico normal estándar (1,96)
X	Promedio de la variable de respuesta en 50 simulaciones
E	Porcentaje del error permitido
$C_{opt}$	Tiempo óptimo de ciclo
L	Total de tiempo perdido por ciclo
$\left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$	Máximo valor de relación entre el flujo actual y flujo de saturación en la fase i.
n	Número de fases.
$A_i$	Tiempo en Amarillo
$TR_i$	Tiempo de todo rojo
i	Número de fases que tiene el ciclo semafórico
Tv	Tiempo de viaje

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ingreso al Puerto Santa Ana desde el norte .....	3
Figura 1.2 Ingreso al Puerto Santa Ana desde el centro o sur.....	4
<i>Figura 2.1 Fases de la metodología .....</i>	<i>15</i>
Figura 2.2 Puntos estratégicos para la toma de datos.....	16
Figura 2.3 Punto 1 de recolección de datos .....	20
<i>Figura 2.4 Punto 2 de recolección de datos .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.5 Punto 3 de recolección de datos .....</i>	<i>22</i>
Figura 2.6 Punto 4 de recolección de datos .....	22
<i>Figura 2.7 Punto 5 de recolección de datos .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.8 Punto 6 de recolección de datos .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.9 Punto 7 de recolección de datos .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.10 Punto 8 de recolección de datos .....</i>	<i>25</i>
Figura 2.11 Punto 9 de recolección de datos .....	26
Figura 2.12 Punto de entrada y salida de vehículos del Puerto Santa Ana.....	26
Figura 2.13 Contador mecánico de 4 dígitos .....	38
<i>Figura 2.14 Estructura vial de la zona de estudio en PTV Vissim.....</i>	<i>39</i>
Figura 2.15 Zonas de conflicto de la zona de estudio en PTV Vissim.....	40
Figura 2.16 Puntos de reducción de velocidad en PTV Vissim.....	41
<i>Figura 2.17 Flujo vehicular en PTV Vissim.....</i>	<i>42</i>
Figura 2.18 Semáforos en el sector etiquetados de la A a la J .....	42
Figura 2.19 Tiempo semafórico de 90 segundos.....	43
Figura 2.20 Tiempo semafórico de 120 segundos.....	43
Figura 3.1 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 115 segundos del escenario 173	
Figura 3.2 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 140 segundos del escenario 174	
Figura 3.3 Comparación entre la situación actual y el escenario uno del promedio de vehículos.....	76
Figura 3.4 Comparación entre la situación actual y el escenario uno del promedio de tiempo de viaje .....	77
Figura 3.5 Comparación del promedio de tamaño de cola para escenario uno .....	79
Figura 3.6 Comparación de parámetros en escenario 1 .....	80
Figura 3.7 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 130 segundos del escenario 282	
Figura 3.8 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 175 segundos del escenario 283	

Figura 3.9 Comparación entre la situación actual y el escenario dos del promedio de vehículos.....	86
Figura 3.10 Comparación entre la situación actual y el escenario dos del promedio de tiempo de viaje.....	87
Figura 3.11 Comparación del promedio de tamaño de cola para el escenario dos.....	90
Figura 3.12 Comparación de parámetros en escenario 2.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Recolección de datos, tiempos y frecuencias Fuente .....	18
<i>Tabla 2.2 Datos recolectados en el punto 1</i> .....	28
Tabla 2.3 Datos recolectados en el punto 2 .....	29
<i>Tabla 2.4 Datos recolectados en el punto 3</i> .....	30
<i>Tabla 2.5 Datos recolectados en el punto 4</i> .....	31
<i>Tabla 2.6 Datos recolectados en el punto 5</i> .....	32
<i>Tabla 2.7 Datos recolectados en el punto 6</i> .....	33
<i>Tabla 2.8 Datos recolectados en el punto 7</i> .....	34
<i>Tabla 2.9 Datos recolectados en el punto 8</i> .....	35
<i>Tabla 2.10 Datos recolectados en el punto 9</i> .....	36
Tabla 2.11 Recolección de datos Puerto Santa Ana .....	37
Tabla 2.12 Datos de entrada y salida por cada 1000 vehículos.....	37
Tabla 2.13 Datos reales y simulados de Zona salida 1.....	46
Tabla 2.14 Datos reales y simulados de Zona salida 2.....	47
Tabla 2.15 Datos reales y simulados de Zona salida 3.....	48
Tabla 2.16 Cálculo del número de iteraciones.....	49
Tabla 2.17 Resultados del estadístico GEH zona de salida 1.....	50
Tabla 2.18 Resultados del estadístico GEH zona de salida 2.....	51
Tabla 2.19 Resultados del estadístico GEH zona de salida 3.....	52
Tabla 2.20 Cronograma de trabajo .....	59
<i>Tabla 3.1 Tiempos de viaje para el caso actual</i> .....	62
Tabla 3.2 Tamaño de cola vehicular para cada zona de salida .....	64
Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana en el escenario 1 .....	68
Tabla 3.4 Estimación del flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez sur norte en el escenario 1 .....	68
Tabla 3.5 Estimación del nuevo flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez norte sur en el escenario 1 .....	69
Tabla 3.6 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana en el escenario 2.....	69
Tabla 3.7 Estimación del flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez sur norte en el escenario 2.....	70

Tabla 3.8 Estimación del nuevo flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez norte sur en el escenario 2 .....	70
<i>Tabla 3.9 Tiempo de viaje para escenario uno</i> .....	75
<i>Tabla 3.10 Tamaño de cola para escenario uno</i> .....	78
<i>Tabla 3.11 Tiempo de viaje para escenario dos</i> .....	85
<i>Tabla 3.12 Tamaño de cola para el escenario dos</i> .....	88
<i>Tabla 3.13 Descripción de costos</i> .....	92

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(1.1) .....	10
(1.2) .....	10
(1.3) .....	11
(1.4) .....	13
(3.1) .....	66
(3.2) .....	66
(3.3) .....	67
(3.4) .....	67
(3.5) .....	71
(3.6) .....	72
(3.7) .....	72
(3.8) .....	72
(3.9) .....	73
(3.10) .....	73
(3.11) .....	74
(3.12) .....	81
(3.13) .....	81
(3.14) .....	82
(3.15) .....	83

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles es uno de los retos más grandes en los tiempos modernos, el grueso poblacional que viven en zonas urbanas se proyecta a un gran aumento en los siguientes años. Existen situaciones actuales que han causado un descenso en población general, pero, las operaciones urbanas del día a día van en aumento, entiéndase como trabajos, obras o cualquier acción que necesite una reubicación de personas y recursos. El mundo se recupera de un encierro masivo para volver a la normalidad y uno de los retos más grandes para las administraciones publicas es el cómo conseguir un correcto uso de los recursos y un buen control del flujo vehicular.

Una de las aristas del correcto uso de los recursos públicos es el buen manejo de calles, carreteras, personal de tránsito y cualquier recurso para la seguridad vial. En el presente proyecto de materia integradora se realizan estudios y simulaciones del tráfico urbano en el sector que conecta la plaza Dañin con el Puerto Santa Ana. Esto con el fin de poder agregar información de valor a un proyecto vigente de carácter público con repercusiones en directas a la ciudadanía y se pueda hacer un uso debido de los recursos de la ciudad.

La Autoridad de Tránsito Municipal (ATM) presenta una serie de retos los cuales deben ser afrontados con el conocimiento necesario. Actualmente la ATM no cuenta con las suficientes herramientas digitales que les permita la toma de decisiones a problemas actuales, referente al tráfico vehicular en los diferentes sectores de la ciudad de Guayaquil. Con el presente proyecto se pretende encontrar posibles soluciones a los diferentes problemas de tráfico que la ATM presenta en un sector en específico de la ciudad.

## 1.1 Descripción del problema

Hoy en día la ciudad de Guayaquil es la ciudad más habitada del Ecuador, esto trae consigo grandes ventajas, una de ellas es la economía que se mueve a gran escala en esta ciudad. Por otro lado, también tiene sus desventajas, la principal de todas es que, debido al gran número de habitantes que tiene la ciudad ocasiona que se formen tráfico casi por toda la ciudad especialmente el norte. Una de las calles que se ve más afectada en el Norte de la ciudad es la Pedro Menéndez en intersección con la Av. Carlos Plaza Dañin, este alto flujo vehicular comienza a la altura del Puerto Santa Ana en el sentido sur norte y desde el puente de la Unidad Nacional en el sentido norte sur hasta la altura del hospital de Neurociencias (El Universo, 2021).

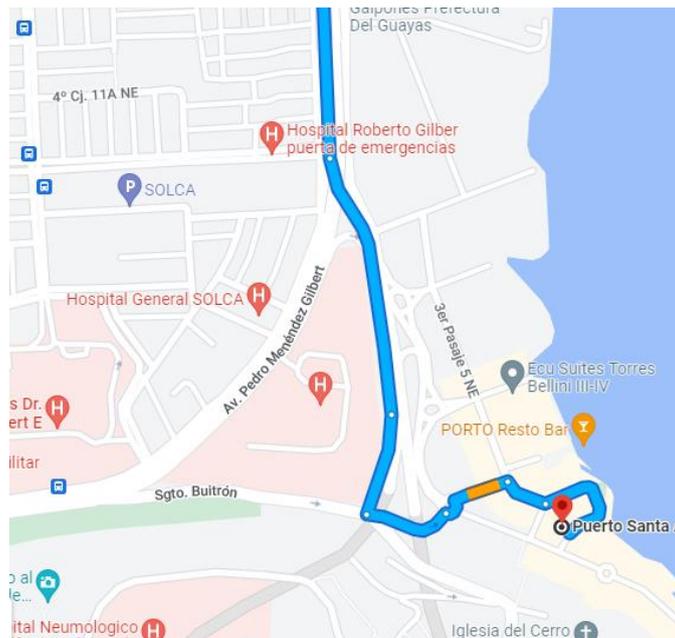
Este sector contiene muchos factores que lo vuelven un punto de tráfico bastante peculiar, por ejemplo:

- Es una de las dos vías que tienen conexión con Duran
- Tiene el Instituto de Neurociencias
- Tiene la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA)
- Tiene los túneles del Cerro Santa Ana
- Tiene acceso al Puerto Santa Ana
- Tiene varios puntos de acceso a sectores habitacionales del Cerro y Puerto Santa Ana

La suma de estos y otros factores lo vuelve un sector de mucho conflicto para el tráfico de la ciudad. Se proyecta un aumento en la densidad habitacional y comercial en el Puerto Santa Ana, debido a la construcción de nuevas infraestructuras en este sector. Este aumento en la densidad habitacional y comercial provocaría que esta zona sea mucho más visitada y por ende el flujo vehicular se incrementaría. La calle Pedro Menéndez es la única calle que permite la entrada y salida a este sector de la ciudad, por lo que esta calle se ve afectada incrementando el flujo vehicular, que se extiende hasta el Puente de la Unidad

Nacional en el sentido sur norte y afecta al tráfico vehicular que se dirige de norte a sur.

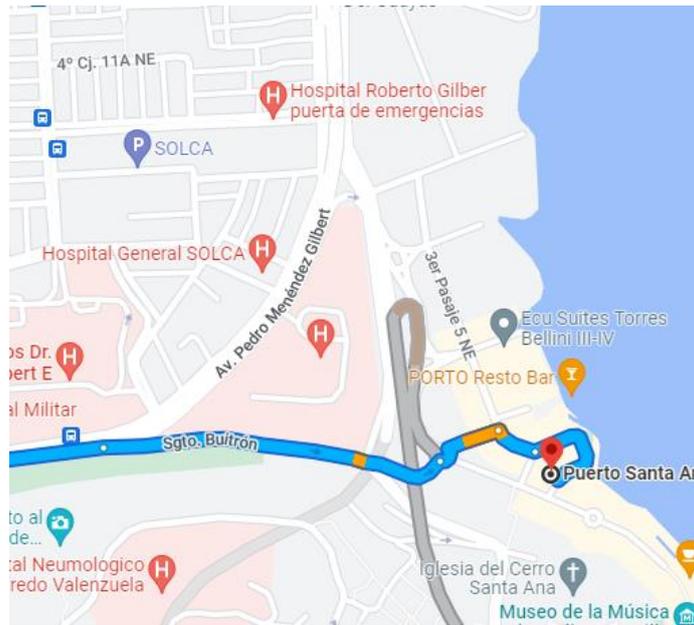
Los vehículos que deseen visitar el Puerto Santa Ana, debido al nuevo rascacielos tendrán que ocupar obligatoriamente esta calle de la Pedro Menéndez, ya sea que vengan del Norte, como lo indica la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, Sur o Centro de la ciudad como lo indica la **Figura 1.2 Ingreso al Puerto Santa Ana desde el centro o sur.**



**Figura 1.1 Ingreso al Puerto Santa Ana desde el norte**

Fuente: Google Maps

Así mismo, para salir del Puerto Santa Ana hacia los diversos sectores se tendrá que hacer por esta calle, hacia el Norte tomar la Pedro Menéndez largo, y para ir hacia el Centro o Sur se tendrá que tomar de la misma forma esta calle para hacer giro en U en la intersección con la Carlos Plaza Dañin.



**Figura 1.2 Ingreso al Puerto Santa Ana desde el centro o sur**

Fuente: Google Maps

Debido a todo lo expuesto es necesario la realización de un estudio que permita evaluar el impacto del potencial aumento del flujo vehicular en un sector de la ciudad de Guayaquil, partiendo de un caso base. Este proyecto Integrador permitirá realizar un estudio exhaustivo del sector para llegar a soluciones confiables y viables que permitan el desfogue vehicular.

## 1.2 Justificación del problema

Un estudio realizado por la institución INRIX demostró que Guayaquil se coloca como la octogésima novena ciudad en el ranking de ciudades con más tráfico en el mundo, también mencionan que un ecuatoriano pierde cuarenta y siete horas promedio al año en el tráfico. Claro esta información tomando en cuenta los sucesos del COVID, en años anteriores, 2018 para ser precisos este valor era de 167 horas por ecuatoriano (INRIX, 2021).

Hoy en día la sociedad se enfrenta a una gran cantidad creciente de desafíos de transporte, donde se presenta un aumento de tráfico lo que provoca que la

congestión vehicular empeore en las principales intersecciones señalizadas que se encuentran alrededor de la mayoría de las ciudades. Estas crecientes de tráfico se dan debido a un mal diseño de la red vial, aumento de población, cambios de infraestructura, malas señalizaciones, entre otros (Alkaissi, 2022).

El modelado de tráfico de micro simulación es una de las aplicaciones más comunes al momento de hacer estudios de tráfico y movimientos en zonas urbanas, que sirve la para la realización de un análisis del impacto de la construcción o reconstrucción de instalaciones/infraestructura de tráfico. Teniendo en cuenta que el funcionamiento del sistema de transporte está influenciado por un comportamiento humano variable, se puede modelar para que este comportamiento se acople o se ajuste a las características locales de la red de transporte (Otković et al., 2020).

El uso de una micro simulación de tráfico permite hacer el testeo de varios parámetros en el sector de interés donde se va a aplicar este proyecto que es la construcción de un nuevo edificio, entre los parámetros más importantes tenemos el tiempo de viaje de los usuarios, tiempo en cola, flujo vehicular, tiempo semafórico entre otros sin números se variables de interés que se necesiten.

Uno de los beneficios de este proyecto es que se podrá realizar modificaciones a la red vial de la microsimulación de este sector a futuro, ya que la ciudad de Guayaquil pretende en un mediano plazo construir otros edificios en el sector, lo que conlleva a otro aumento de flujo vehicular, pero con este simulador se pueden hacer modificaciones encontrando otras soluciones factibles para el desfogue vehicular.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar el impacto vehicular en un sector de la ciudad de Guayaquil, para la mitigación de las externalidades negativas ante potenciales cambio en densidad habitacional y comercial en el Puerto Santa Ana, mediante un software de modelos de microsimulación PTV VISSIM.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la situación actual de tráfico mediante la observación en la zona de afectación, para la creación del modelo de microsimulación
2. Recolectar datos de los parámetros del flujo vehicular en el sector para la implementación del modelo de microsimulación.
3. Calibrar el modelo de microsimulación del caso base, que permita la comparación entre los datos reales y los datos simulados.
4. Generar varios escenarios a partir del caso base, para la elección del mejor que ayude a la disminución de las externalidades negativas.
5. Evaluar la situación actual y la situación propuesta para la obtención de información de la factibilidad de la situación propuesta en este proyecto.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 ANTECEDENTES: Estado del Arte**

La microsimulación con el software VISSIM para modelar redes viales ha sido muy utilizada en la última década, ya que cuenta con una alta gama de parámetros que se pueden modificar a medida que la red vial se diseña. Este software, sin duda alguna, ha ayudado de manera positiva en la toma de decisiones para grandes proyectos, que buscan de manera general realizar una planificación adecuada en cierto sector para que la congestión vehicular disminuya. A continuación, se explica de manera breve estudio que se realizó en ciudad de Bagdad capital de Irak, donde se implementó una solución innovadora de intersección de flujo continuo con giro a la izquierda desplazado (DLT, Displaced Left Turn, por sus siglas en inglés) para aliviar la congestión y el alto retraso de los vehículos.

En Bagdad se estudió intersecciones señalizadas congestionadas para evaluar por medio de VISSIM los impactos que la congestión vehicular con giro a la izquierda desplazado tendrá, para esto se consideraron algunos parámetros como la longitud de cola, flujo vehicular, tiempo de espera, tiempo de retraso de los vehículos, todo esto se da en una

intersección real con semáforos. Entre los resultados de este estudio se tiene que la DLT ayudó a reducir el retraso vehicular en un 44% aproximadamente, se mejoró el nivel de servicio tipo F que se tenía a un nivel de servicio tipo D en los accesos norte y sur, los cuales representaban durante las horas pico los tramos con mayor congestión vehicular. Todo esto ayudó lograr una mayor eficiencia en las intersecciones, donde la longitud de cola fue claramente disminuida entre un 47.5% y el 42% con respecto a la longitud de cola que se tenía antes de realizar esta intersección de flujo continuo con giro a la izquierda (Alkaissi, 2022).

De acuerdo con lo mencionado en la metodología de Alkaissi, en el presente proyecto se pueden considerar los mismos parámetros en la intersección de la Pedro Menéndez y Carlos Plaza Dañin, para reducir la congestión vehicular. Esto referente a los giros a la izquierda, donde también se consideran los giros en U que van hacia el mismo sentido. Del mismo modo, siguiendo esta metodología se puede aplicar para giros a la derecha en la misma intersección. Todo esto ayudará a disminuir el retraso vehicular y mejorar el nivel de servicio en la intersección ya mencionada.

Otro caso de estudio se lo tiene en Ostrava-Poruba, República Checa. Se realizó un estudio de un modelo de microsimulación para autopistas, de tal forma que se garantice la sostenibilidad y accesibilidad del transporte público utilizando un nodo de tránsito específico. Estos nodos de tránsito deben ser bien estructurados para que no sean una amenaza a futuro en todo el sistema de transporte, ya sea público o privado. Mediante el programa PTV VISSIM/VISWALK se creó el modelo de microsimulación de tráfico de un nodo de tránsito que se requiere para esta problemática. El modelo creado se probó con diferentes cargas o parámetros de tráfico, entre las cuales tenemos, cargas donde se considera una ampliación de la red sobre la autopista y con cargas normales. Los resultados obtenidos en este caso de estudio indica la gran importancia del monitoreo de cada uno de los parámetros como las velocidades peatonales, tiempo de viaje, nivel de servicio de la carretera, tiempos semafóricos, entre otros parámetros que aseguren que la

construcción de este nodo de tráfico funcione de la mejor manera posible (Krivda et al., 2021).

De acuerdo con la metodología de Krivda, se puede especificar puntos o nodos estratégicos bajo ciertos parámetros en este proyecto, que respete y/o comparta la accesibilidad del transporte público y privado. Una ampliación de la red vial en la Av. Pedro Menéndez, donde tanto la metrovía y los vehículos privados puedan compartir vía durante todo el tiempo es una de las posibles soluciones. Esta alternativa se la pueda validar en la microsimulación y observar que tan factible es este método en la busca de disminuir el tráfico vehicular en el sector.

Un estudio adicional se lo tiene en Osijek, Croacia, donde se desarrolló un modelo de microsimulación en VISSIM llamado método de calibración sobre la red de transporte urbano de esta ciudad croata. Este método de calibración se ajustó a las características locales que posee la red de transporte en Osijek. Se hizo uso de redes neuronales, que permitieron hacer la simulación del cambio de la vía de interés en la zona, en un instante de tiempo específico por la mañana sobre la red de tráfico Urbano. El resultado obtenido en una intersección de un punto A a un punto B refleja que los valores medio de tiempo de viaje en condiciones reales de tráfico es de 75,7 segundos que difiere en un 13% del tiempo de viaje obtenido con modelo por defecto que es de 81,95 segundos. Una vez aplicado el modelo de calibración el tiempo promedio obtenido es de 72,4 segundos que difiere a tan sólo un 2,5% con respecto a las condiciones normales de tráfico. Esta calibración puede ser aún más eficiente, ya que como su nombre lo dice se puede ir calibrando a la necesidad de la red de transporte, como todo tiene su limitante, ya que alcanza hasta cierto punto de tolerancia (Otković et al., 2020).

## 1.4.2 BASE TEÓRICA

### 1.4.2.1 Teoría de “car following”

Una regla simple de la teoría de car following propuesta por GF Newell midiendo los vehículos que se descargan de largas colas en las intersecciones señalizadas. Las observaciones indicaron que la trayectoria espacio temporal de un  $j$ -ésimo vehículo descargando en una aproximación a una intersección homogénea era esencialmente la misma que la del  $j - 1$  -ésimo vehículo excepto por una traslación en el tiempo y el espacio. Estas traslaciones fijas son simplemente el tiempo y la distancia necesarios para que el conductor  $j$  alcance los espacios que elige para seguir al vehículo  $j - 1$  en función de las velocidades de  $j - 1$ . Esta descripción es mucho más simple y utiliza menos parámetros que otros modelos de car following (Ahn et al., 2004).

### 1.4.2.2 Técnicas Estadísticas No Paramétricas

La principal técnica de esta teoría está basada estadísticamente para su uso en un procedimiento de calibración automatizado. Se usa la prueba de Kolmogorov-Smirnov para probar la hipótesis de que la distribución de tiempos de viaje de los tiempos de viaje simulados y observados son estadísticamente idénticos, de acuerdo con la **ecuación**  $\text{¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.}$  (Kim et al., 2005).

Las pruebas de Kolmogorov-Smirnov se pueden utilizar para probar la hipótesis de que dos poblaciones tienen la misma distribución. Sea  $x_1, \dots, x_m$  las observaciones de campo con función acumulativa (CDF, por sus siglas en inglés, Cumulative Distribution Function)  $F_1$  y sea  $y_1, \dots, y_n$  las observaciones de la microsimulación con CDF  $F_2$ . La hipótesis nula se muestra a continuación (Kim et al., 2005):

$$H_0: F_1(x) = F_2(x) \quad \text{para todas las } x$$

El estadístico de prueba de Kolmogrov-Smirnov se define de la siguiente forma:

$$D = \max |F_1(x) - F_2(x)| \quad (1.1)$$

La hipótesis se rechaza si el estadístico de prueba, D, es mayor que el valor crítico obtenido de una tabla KS. Se puede usar un nivel de significancia de 0.01 a 0.05.

#### 1.4.2.3 *Número de simulaciones*

Para poder encontrar un mejor resultado con un error E definido en 5% se debe hacer un N número de simulaciones para generar los datos necesarios para la calibración. Para realizar este cálculo se hace uso de la **ecuación (1.2)**, tal y como se observa a continuación:

$$N = \left[ \frac{\partial * Z}{E * X} \right]^2 \quad (1.2)$$

Siendo:

N=Número de simulaciones.

$\partial$ = desviación estándar de respuestas a analizar 50 simulaciones.

Z= Estadístico normal estándar (1,96).

X=Promedio de la variable de respuesta en 50 simulaciones.

E= Porcentaje del error permitido.

#### 1.4.2.4 *Método de Webster*

El método de Webster es un método que permite sincronizar los tiempos de semáforos, ayudando a minimizar las demoras que tienen los

vehículos en intersecciones con movimientos críticos. De este modo, este método ayuda a obtener un tiempo de ciclo óptimo, para dichas intersecciones. Este cálculo de tiempo del ciclo óptimo a través del método de Webster se calcula con la **ecuación (1.2)**.

$$C_{opt} = \frac{1,5 * L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}} (seg) \quad (1.3)$$

Siendo:

$C_{opt}$  = Tiempo óptimo de ciclo (seg.).

$L$  = Total de tiempo perdido por ciclo (seg.).

$\left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$  = Máximo valor de relación entre el flujo actual y flujo de saturación en la fase  $i$ .

$n$  = Número de fases.

### 1.4.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

#### 1.4.3.1 *Simulación*

La simulación es un modelo parametrizado que replica el funcionamiento y lógica de un sistema real mediante el uso de descripciones estadísticas de las actividades involucradas. Una simulación tiene entidades y actividades, así mismo, tiene una descripción de la lógica que rige cada actividad.

#### 1.4.3.2 *Modelo de Microsimulación*

Un modelo de microsimulación es un modelo que utiliza técnicas de simulación y que toma unidades de nivel micro como unidades básicas de análisis al investigar los efectos de las políticas sociales y económicas.

#### **1.4.3.3 Modelos de comportamiento del conductor**

El comportamiento dinámico del vehículo está determinado por los tipos de vehículos y los parámetros físicos correspondientes, como el tamaño y la capacidad máxima de aceleración o desaceleración y el comportamiento del conductor. Esos parámetros afectan directamente los retrasos en la simulación. Por supuesto, los retrasos también se ven afectados por el tiempo de respuesta del conductor.

#### **1.4.3.4 Tiempo de Viaje**

El tiempo de viaje es una medida del tiempo necesario para trasladarse un lugar A a otro B o atravesar un segmento de calle. Los estudios de tiempo de viaje brindan los datos necesarios para determinar el tiempo promedio de viaje. El tiempo de viaje es una de las principales medidas del desempeño del sistema vial que utilizan los ingenieros y analistas de tráfico. Dado que la velocidad del vehículo se relaciona de manera directa con el tiempo de viaje, se la considera como una medida de desempeño apropiada para evaluar los sistemas de tránsito.

#### **1.4.3.5 Hora pico**

La Hora pico es el periodo de tiempo durante el día cuando el tráfico es más pesado. En este periodo de tiempo el hacinamiento en el transporte público y la congestión en las vías son máximos. Por lo general sucede dos veces al día, una por la mañana y otra por la tarde/noche, que son los horarios donde la mayoría de las personas se desplaza.

#### **1.4.3.6 Congestión vehicular**

La congestión vehicular es una condición en la que el número de vehículos que intentan usar una carretera en cualquier momento excede

la capacidad de la carretera, en otras palabras, la demanda es mayor que la oferta en la capacidad que una vía pueda tener.

#### **1.4.3.7 Flujo de Saturación**

Es el máximo flujo vehicular que puede pasar en una intersección, cuando al semáforo se le asigna el color verde de manera ininterrumpida durante el tiempo de una hora. En el caso que la calle no sea semaforizada, este conteo se lo realiza una vez que atraviesan la línea de “Pare”.

#### **1.4.3.8 Tiempo perdido por ciclo**

Este tiempo se compone de la suma de los tiempos de todo rojo y de los tiempos de intervalo de amarillo, tal y como se observa en la ecuación

$$\text{Tiempo perdido por ciclo} = \sum (A_i + TR_i) \quad (1.4)$$

Siendo:

$A_i$  = Tiempo en Amarillo (seg.).

$TR_i$  = Tiempo de todo rojo (seg.).

$i$  = Número de fases que tiene el ciclo semafórico.

#### **1.4.3.9 Tiempos semafóricos**

Es el periodo de tiempo que tiene un grupo de semáforos para cambiar de un color a otro, respetando siempre un patrón. Estos tiempos semafóricos dependen de las características del tráfico que existe en una calle o intersección. Un correcto estudio para los tiempos semafóricos en una calle en específico permite que el tránsito vehicular disminuya, evitando un periodo largo de embotellamiento.

#### **1.4.3.10 Nivel de servicio**

Es una estratificación cualitativa de la calidad del servicio para un viajero típico durante el uso de la carretera, este nivel de servicio se divide en seis niveles de grado desde la A hasta la F, donde la A describe la calidad más alta y F que describe la calidad más baja de la medida cualitativa.

#### **1.4.3.11 Tiempo de cola**

Periodo de tiempo en el que las personas esperan ingresar a un sistema, dado que los agentes del sistema se encuentran ocupado por otras personas que llegaron primero. En el contexto del presente proyecto, se va a referir al tiempo que un vehículo espera en una sección de vía o en un semáforo, hasta poder continuar con su trayectoria.

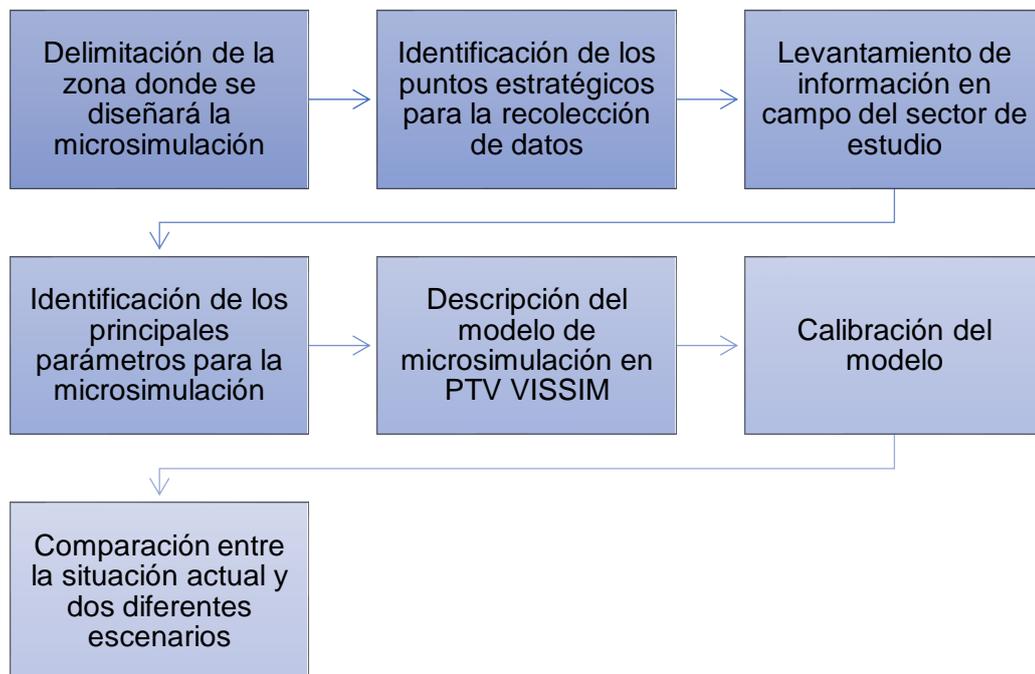
#### **1.4.3.12 Flujo vehicular**

Es la cantidad de automóviles que pasan por una sección de la vía o carretera en un periodo específico de tiempo y se expresa en términos de vehículos por hora. Además, se refiere a todos los movimientos planificados de vehículos sobre una calle, avenida o intersección, con el objetivo de desarrollar una red vial óptima, para así, evitar problemas mínimos de congestión de tráfico. Existe el flujo vehicular continuo y el flujo vehicular interrumpido, que es el que se va a tratar en este proyecto- El flujo vehicular interrumpido es aquel donde las interrupciones son frecuentes, debido a los distintos controles de tránsito como los semáforos, los pare, ceda el paso.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla paso a paso la metodología desarrollada en el presente proyecto, desde la delimitación de la zona a ser estudiada hasta el escenario de la posible solución, tal y como se observa en la **Figura 2.1 Fases de la metodología**. Se utilizó el software PTV Vissim 2020 para crear la microsimulación de la situación base o actual, donde los datos obtenidos en el sector de estudio fueron calibrados, de tal forma que los datos se ajustaron a la realidad de la cantidad de flujo que pasan en la vía de estudio. Además, en el mismo software se creó la microsimulación del escenario de la posible solución, partiendo de la información procesada de la situación base.



**Figura 2.1 Fases de la metodología**

Fuente: Los Autores

## 2.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación es mixto, tanto cualitativo como cuantitativo. En el enfoque cualitativo se realizó el análisis de los puntos estratégicos para la recolección de datos, procesamiento y análisis de estos en la situación base. Por otro lado, en el enfoque cuantitativo se tomó en cuenta las variables de interés numérica en la recolección de datos, para su posterior uso en la microsimulación. Además, con estos dos enfoques se explicó en la calibración del diseño los valores encontrados, para saber que tan relevantes son en la investigación.

### 2.1.1 Levantamiento de información

La recolección de datos se la realizó en la zona comprendida entre el Puerto Santa Ana hasta la intersección entre la Av. Pedro Menéndez y Carlos Plaza Dañin. Se definieron nueve puntos estratégicos para la recolección de datos, tal y como se puede observar en la **Figura 2.2 Puntos estratégicos para la toma de datos**.



**Figura 2.2 Puntos estratégicos para la toma de datos**

Fuente: Google Maps

A continuación, se detallan ciertas características de cada uno de estos puntos estratégicos en el sector donde se realizó el estudio:

1. Número de vehículos que se dirigen en sentido norte sur por la Av. Pedro Menéndez y toman el paso a desnivel o puente.
2. Número de vehículos que se dirigen en sentido norte sur por la Av. Pedro Menéndez y hacen giro a la derecha hacia la Calle Carlos Plaza Dañin.
3. Número de vehículos que se dirigen en sentido norte sur por la Av. Pedro Menéndez y hacen giro en U para incorporarse a la misma Avenida en sentido sur norte.
4. Número de vehículos que se dirigen en sentido sur norte por la Av. Pedro Menéndez y hacen giro en U para incorporarse a la misma Avenida en sentido norte sur, y giro a la derecha de la calle Carlos Plaza Dañin en sentido oeste este para incorporarse a la Av. Pedro Menéndez.
5. Número de vehículos que se dirigen en sentido oeste este por la calle Carlos Plaza Dañin y hacen giro a la izquierda para incorporarse a la Av. Pedro Menéndez y los que continúan largo.
6. Número total de vehículos que pasan en la Av. Pedro Menéndez que vienen del paso desnivel, giros en U y de la calle Carlos Plaza Dañin.
7. Número de vehículos que se dirigen en sentido sur norte por la Av. Pedro Menéndez y giran a la izquierda hacia la calle Carlos Plaza Dañin.
8. Número de vehículos que se dirigen en sentido sur norte por la Av. Pedro Menéndez y giran a la derecha hacia la calle Carlos Plaza Dañin y los que continúan largo.
9. Número total de vehículos que pasan en la Av. Pedro Menéndez que vienen del sur, centro y del Puerto Santa Ana.

Además, se tomó la cantidad de vehículos que entran y salen del Puerto Santa Ana en las horas pico, de 7am a 9am y de 5pm a 7pm. Esto nos ayudará más adelante, para calcular la estimación del flujo vehicular en la zona de estudio.

### 2.1.1.1 *Tiempo y franjas horarias de recolección de datos*

Para la recolección de datos se dividió en tres franjas horarias de dos horas cada una de ellas, con un intervalo de 15 minutos. Las horas de cada franja en que se tomaron los datos, así como las frecuencias se muestran en la **Tabla 2.1 Recolección de datos, tiempos y frecuencias**  
**Fuente:** Se recolectó los datos en tres días, un día para cada franja, invirtiéndose un total de ocho horas.

**Tabla 2.1 Recolección de datos, tiempos y frecuencias**  
**Fuente: Los autores**

Recolección de datos			
N° de Franja	Hora	Intervalo	
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00
		7:15:00	7:30:00
		7:30:00	7:45:00
		7:45:00	8:00:00
		8:00:00	8:15:00
		8:15:00	8:30:00
		8:30:00	8:45:00
		8:45:00	9:00:00
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00
		12:15:00	12:30:00
		12:30:00	12:45:00
		12:45:00	13:00:00
		13:00:00	13:15:00
		13:15:00	13:30:00
		13:30:00	13:45:00
		13:45:00	14:00:00
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00
		17:15:00	17:30:00
		17:30:00	17:45:00
		17:45:00	18:00:00
		18:00:00	18:15:00
		18:15:00	18:30:00
		18:30:00	18:45:00
		18:45:00	19:00:00

### **2.1.1.2 Tipos de vehículos**

Un punto muy importante para realizar la microsimulación es definir qué tipo de vehículos se van a tomar en cuenta en el sector de estudio. Existen varios tipos de vehículos que circulan por este sector, como los son vehículos livianos, de carga, buses, articulado de la Metrovía, motos, pero se consideró sólo tres tipos de vehículos para el presente proyecto, los cuales se mencionan a continuación:

- Buses Urbanos de Durán y Samborondón
- Transporte masivo Metrovía
- Vehículos livianos

Los otros tipos de vehículos, como las motos, vehículos de carga no se tomaron en cuenta debido al poco flujo que se evidenció en la recolección de datos, por lo que no tienen tanta repercusión en la congestión vehicular.

En el sentido norte sur se van a considerar los tres tipos de vehículos, incluido cualquier movimiento que hagan en este sentido. En el sentido sur norte sólo se van a considerar dos tipos de vehículos, los cuales son los vehículos livianos y el Transporte masivo Metrovía. Por otro lado, en el sentido oeste este que es el de la calle Carlos Plaza Dañin, sólo se van a considerar vehículos livianos porque son los únicos permitidos en circular por esta calle.

### **2.1.2 Análisis de la información levantada: Situación Actual**

En la actualidad de la realización del presente proyecto se encuentra en vigencia un contraflujo en la Av. Pedro Menéndez, de lunes a viernes entre las 6h00 am hasta las 10h00 am. Este contraflujo no afectará a la zona de estudio, ya que comienza desde la bajada del Puente de la Unidad Nacional y finaliza a la altura del Instituto de Neurociencias (El Universo, 2022), por lo que este contraflujo se encuentra fuera de la zona a ser estudiada. Además, quienes tomen este contraflujo deberán tomar

obligatoriamente el paso desnivel, lo que afecta poco al tráfico en la intersección entre la Av. Pedro Menéndez y Carlos Plaza Dañin.

En este punto se detalla cada uno de los puntos estratégicos, por qué fueron seleccionados y que implicación tienen en el proyecto. La principal función en cada uno de estos puntos fue el levantamiento de información, de la cantidad de flujo que pasa por dicho punto y comportamiento del conductor.

### **2.1.2.1 Levantamiento de información en el punto 1**

En este punto se tomó en consideración los tres tipos de vehículos ya mencionados, provenientes de Durán, Samborondón y norte de la ciudad de Guayaquil. Sólo se consideraron los vehículos que se dirigen en sentido norte sur por la Av. Pedro Menéndez y toman el paso a desnivel, tal y como se muestra en la **Figura 2.3 Punto 1 de recolección de datos**, más no los que van por el carril derecho a un lado del paso a desnivel. Dichos vehículos van a ser considerados en los puntos estratégico dos y tres.



**Figura 2.3 Punto 1 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

### **2.1.2.2 Levantamiento de información en el punto 2**

Para este punto sólo se consideraron los vehículos livianos, debido a que son los únicos vehículos permitidos en hacer giro a la derecha hacia la Calle Carlos Plaza Dañin tal y como se observa en la **Figura 2.4 Punto 2 de recolección de datos**. Estos vehículos son provenientes de la Av. Pedro Menéndez en el sentido norte sur. En este punto se tomó muy en cuenta aquellos vehículos livianos que hacen cambio de carril a última hora para incorporarse a este punto.



**Figura 2.4 Punto 2 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

### **2.1.2.3 Levantamiento de información en el punto 3**

Al igual que en el punto dos, en este punto se tomó en cuenta sólo vehículos livianos. Estos vehículos son los que hicieron giro en U por debajo del paso desnivel, provenientes de la Av. Pedro Menéndez en sentido norte sur, tal y como se observa en la **Figura 2.5 Punto 3 de recolección de datos**, para nuevamente incorporarse a esta Avenida, pero ahora en sentido sur norte.



**Figura 2.5 Punto 3 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

#### **2.1.2.4 Levantamiento de información en el punto 4**

En este punto se recolectó los datos provenientes de dos puntos distintos, pero que a la final escogen la misma vía. Estos vehículos son los que se dirigen de sentido sur norte por la Av. Pedro Menéndez y hacen giro en U por debajo del paso a desnivel, para incorporarse a la misma Avenida en sentido norte sur. Además, se tiene los vehículos que hacen giro a la derecha provenientes de la calle Carlos Plaza Dañin. Estos dos puntos de origen se los puede observar en la **Figura 2.6 Punto 4 de recolección de datos**. En este punto se consideraron sólo vehículos livianos.



**Figura 2.6 Punto 4 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

### **2.1.2.5 Levantamiento de información en el punto 5**

En este punto también se consideraron sólo los vehículos livianos y son aquellos vehículos que se dirigen en sentido oeste este por la calle Carlos Plaza Dañin y hacen giro a la izquierda para incorporarse a la Av. Pedro Menéndez y los que continúan largo por la calle Carlos Plaza Dañin, este doble movimiento se lo puede observar en la **Figura 2.7 Punto 5 de recolección de datos**.



**Figura 2.7 Punto 5 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

### **2.1.2.6 Levantamiento de información en el punto 6**

Para este punto se tomó en cuenta todos los vehículos que pasan por la Av. Pedro Menéndez en sentido norte sur a la bajada del paso a desnivel tal y como se observa en la **Figura 2.8 Punto 6 de recolección de datos**, entre estos vehículos tenemos los procedentes de la calle Carlos Plaza Dañin y los que ya han hecho giro en U. Para este punto se tomaron en cuenta los tres tipos de vehículos, que son los vehículos livianos, el transporte masivo Metrovía y los buses de Durán y Samborondón.



**Figura 2.8 Punto 6 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

#### **2.1.2.7 Levantamiento de información en el punto 7**

En este punto se tomó en cuenta sólo los vehículos livianos que hacen giro a la Izquierda provenientes de la Av. Pedro Menéndez, en sentido sur norte hacia la calle Carlos Plaza Dañin, tal y como se observa en la **Figura 2.9 Punto 7 de recolección de datos**.



**Figura 2.9 Punto 7 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

### **2.1.2.8 Levantamiento de información en el punto 8**

Al igual que en el punto 7 se tomó en cuenta los vehículos provenientes de la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte, pero en este caso se contabilizaron los que van largo y los que giran a la derecha hacia la calle Carlos Plaza Dañin, este punto se lo puede observar en la **Figura 2.10 Punto 8 de recolección de datos**. Para este punto se tomó en cuenta sólo los vehículos livianos.



**Figura 2.10 Punto 8 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

### **2.1.2.9 Levantamiento de información en el punto 9**

En este sector se recolectó información de todos los vehículos que pasan en Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte, aquellos vehículos provinieron del sector sur y centro de la ciudad. Además, aquellos que salen del Puerto Santa Ana y se dirigen hacia el norte o que vayan a hacer retorno. El lugar específico de la recolección de datos se lo puede observar en la **Figura 2.11 Punto 9 de recolección de datos**. Los tipos de vehículos que se tomó en cuenta fueron los vehículos livianos y la Metrovía.



**Figura 2.11 Punto 9 de recolección de datos**

Fuente: Google Maps

#### **2.1.2.10 Levantamiento de información en la entrada y salida del Puerto Santa Ana**

En este punto se tomó la cantidad de vehículos que entran y salen del Puerto Santa Ana, tal y como se observa en la **Figura 2.12 Punto de entrada y salida de vehículos del Puerto Santa Ana**, para estimar el flujo vehicular en los nuevos escenarios que se van a plantear más adelante en el capítulo 3.



**Figura 2.12 Punto de entrada y salida de vehículos del Puerto Santa Ana**

Fuente: Google Maps

## 2.2 Recolección de los datos

En esta sección se presenta los datos resumidos de cada uno de los puntos estratégicos. Para cada punto se tiene información del flujo vehicular en dicho punto, de las tres franjas horarias que previamente se ha explicado. Con esta información se procedió a ingresar los datos al software de microsimulación PTV Vissim. Conectando todos los puntos se obtuvo la microsimulación de la zona de estudio, para su posterior calibración.

### 2.2.1 Datos en el punto 1

En la **Tabla 2.2 Datos recolectados en el punto 1** se observa los datos del flujo vehicular de los tres tipos de vehículos. Por un lado, se observa que el flujo vehicular de los vehículos livianos en la franja 1, es levemente más alto que las otras dos franjas, la diferencia es mínima, pero la hay. Por otro lado, tenemos el flujo de los buses urbanos que no tienen mucha variabilidad, a excepción de las 2pm hasta las 3pm que el flujo por frecuencia es menor a 11. Por último, tenemos la Metrovía que en promedio por frecuencia se tiene un flujo de cuatro vehículos, esto es debido a que la frecuencia de la Metrovía es constante.

**Tabla 2.2 Datos recolectados en el punto 1**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 1						
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	Buses	Metrovía
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	2059	27	5
		7:15:00	7:30:00	2026	25	5
		7:30:00	7:45:00	2180	22	4
		7:45:00	8:00:00	2085	24	6
		8:00:00	8:15:00	1996	20	5
		8:15:00	8:30:00	2163	21	4
		8:30:00	8:45:00	1779	22	5
		8:45:00	9:00:00	1937	26	4
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	1720	18	6
		12:15:00	12:30:00	1762	23	5
		12:30:00	12:45:00	1800	23	4
		12:45:00	13:00:00	1853	24	6
		13:00:00	13:15:00	1568	16	4
		13:15:00	13:30:00	1681	17	6
		13:30:00	13:45:00	1733	20	4
		13:45:00	14:00:00	1554	19	6
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	1639	17	4
		17:15:00	17:30:00	1814	20	5
		17:30:00	17:45:00	1723	20	5
		17:45:00	18:00:00	1652	19	6
		18:00:00	18:15:00	1521	24	5
		18:15:00	18:30:00	1715	23	6
		18:30:00	18:45:00	1751	21	3
		18:45:00	19:00:00	1806	17	5

### 2.2.2 Datos en el punto 2

La cantidad de flujo vehicular en este punto es mucho más alta en la franja 1, con un pico de 670 vehículos entre las 7:15am hasta las 7:30am tal y como se observa en la **Tabla 2.3 Datos recolectados en el punto 2**. La congestión vehicular disminuye en la franja de la tarde y noche.

**Tabla 2.3 Datos recolectados en el punto 2**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 2					
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	
				Giro derecha	Largo
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	543	78
		7:15:00	7:30:00	534	70
		7:30:00	7:45:00	481	77
		7:45:00	8:00:00	532	96
		8:00:00	8:15:00	547	74
		8:15:00	8:30:00	501	70
		8:30:00	8:45:00	501	69
		8:45:00	9:00:00	460	58
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	450	62
		12:15:00	12:30:00	552	63
		12:30:00	12:45:00	410	75
		12:45:00	13:00:00	560	73
		13:00:00	13:15:00	385	76
		13:15:00	13:30:00	432	58
		13:30:00	13:45:00	395	78
		13:45:00	14:00:00	407	64
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	550	69
		17:15:00	17:30:00	540	62
		17:30:00	17:45:00	628	57
		17:45:00	18:00:00	536	41
		18:00:00	18:15:00	662	58
		18:15:00	18:30:00	632	74
		18:30:00	18:45:00	570	52
		18:45:00	19:00:00	640	64

### 2.2.3 Datos en el punto 3

En la **Tabla 2.4 Datos recolectados en el punto 3**, se observa el flujo vehicular de los vehículos que hacen giro en U provenientes de la Av. Pedro Menéndez en sentido norte sur. Se puede apreciar que los datos en este movimiento no tienen mucha variabilidad por franja. Tomando en cuenta la cantidad alta de vehículos que pasan por la Av. Pedro Menéndez, se considera bajo el número de vehículos que realizan este movimiento. Se observa que la cantidad mínima es 48 y la cantidad máxima es de 76 vehículos que realizan este movimiento.

**Tabla 2.4 Datos recolectados en el punto 3**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 3				
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	86
		7:15:00	7:30:00	77
		7:30:00	7:45:00	85
		7:45:00	8:00:00	73
		8:00:00	8:15:00	67
		8:15:00	8:30:00	77
		8:30:00	8:45:00	71
		8:45:00	9:00:00	65
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	49
		12:15:00	12:30:00	48
		12:30:00	12:45:00	70
		12:45:00	13:00:00	74
		13:00:00	13:15:00	63
		13:15:00	13:30:00	62
		13:30:00	13:45:00	73
		13:45:00	14:00:00	67
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	65
		17:15:00	17:30:00	55
		17:30:00	17:45:00	58
		17:45:00	18:00:00	50
		18:00:00	18:15:00	60
		18:15:00	18:30:00	44
		18:30:00	18:45:00	50
		18:45:00	19:00:00	60

#### 2.2.4 Datos en el punto 4

Como ya mencionó, en este punto se toman datos provenientes de dos puntos distintos, los que hacen giro a la derecha de la Calle Carlos Plaza Dañin y los que hacen giro en U de la Av. Pedro Menéndez, en sentido sur norte. En la **Tabla 2.5 Datos recolectados en el punto 4**, se observa que en la franja 1 y 3 el flujo vehicular es alto, mientras que en la franja 2 esta cantidad disminuye. Por otro lado, al igual que en el punto 3 los vehículos que hacen este movimiento son bajo, tomando en cuenta la alta cantidad de vehículos que pasan por la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte.

**Tabla 2.5 Datos recolectados en el punto 4**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 4					
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	
				Giro a la derecha	Giro en U
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	212	106
		7:15:00	7:30:00	206	103
		7:30:00	7:45:00	217	109
		7:45:00	8:00:00	185	108
		8:00:00	8:15:00	182	90
		8:15:00	8:30:00	212	101
		8:30:00	8:45:00	209	93
		8:45:00	9:00:00	187	103
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	173	99
		12:15:00	12:30:00	201	107
		12:30:00	12:45:00	172	87
		12:45:00	13:00:00	181	92
		13:00:00	13:15:00	169	99
		13:15:00	13:30:00	200	106
		13:30:00	13:45:00	163	109
		13:45:00	14:00:00	195	93
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	161	135
		17:15:00	17:30:00	157	142
		17:30:00	17:45:00	176	113
		17:45:00	18:00:00	178	127
		18:00:00	18:15:00	153	152
		18:15:00	18:30:00	140	157
		18:30:00	18:45:00	159	129
		18:45:00	19:00:00	183	121

### 2.2.5 Datos en el punto 5

En la **Tabla 2.6 Datos recolectados en el punto 5**, se observa los datos del flujo vehicular que vienen por la calle Carlos Plaza Dañin, que hacen giro a la izquierda hacia la Av. Pedro Menéndez y los que continúan largo. Se observa que la cantidad de vehículos que hacen el giro a la izquierda es muy alta, con respecto a la dimensión que tiene esta vía, siendo la franja 3 con el más alto flujo vehicular, debido a que los habitantes de Durán que trabajan o estudian en Guayaquil retornan a sus hogares. Mientras que, los que continúan largo son muy pocos, debido a que no hay muchos destinos

en ese sector, y la mayoría se dirigen hacia Instituto Superior Bolivariano (ITB).

**Tabla 2.6 Datos recolectados en el punto 5**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 5					
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	
				Giro a la izquierda	Largo
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	382	14
		7:15:00	7:30:00	388	17
		7:30:00	7:45:00	374	16
		7:45:00	8:00:00	332	13
		8:00:00	8:15:00	323	15
		8:15:00	8:30:00	336	11
		8:30:00	8:45:00	327	12
		8:45:00	9:00:00	340	14
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	313	19
		12:15:00	12:30:00	272	17
		12:30:00	12:45:00	304	13
		12:45:00	13:00:00	296	10
		13:00:00	13:15:00	304	13
		13:15:00	13:30:00	281	16
		13:30:00	13:45:00	280	19
		13:45:00	14:00:00	275	12
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	391	10
		17:15:00	17:30:00	367	6
		17:30:00	17:45:00	429	13
		17:45:00	18:00:00	420	6
		18:00:00	18:15:00	390	14
		18:15:00	18:30:00	387	10
		18:30:00	18:45:00	438	7
		18:45:00	19:00:00	420	12

### 2.2.6 Datos en el punto 6

En este punto se tomó el flujo vehicular de los tres tipos de vehículos. Al igual que en el punto 1, se puede observar en la **Tabla 2.7 Datos recolectados en el punto 6**, que el flujo vehicular es levemente mayor en la franja 1 con respecto a la franja 2 y 3. La cantidad de buses varía poco, debido a que a lo largo del día la frecuencia de salida de la estación es casi constante, pero se suelen retrasar, ya sea por el tráfico o que tantas

personas recoge. El flujo de la Metrovía se mantiene casi constante durante todo el día.

**Tabla 2.7 Datos recolectados en el punto 6**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 6						
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	Buses	Metrovía
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	1554	22	5
		7:15:00	7:30:00	1596	27	5
		7:30:00	7:45:00	1698	27	6
		7:45:00	8:00:00	1625	25	4
		8:00:00	8:15:00	1675	23	4
		8:15:00	8:30:00	1458	18	5
		8:30:00	8:45:00	1495	27	6
		8:45:00	9:00:00	1582	18	5
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	1491	17	5
		12:15:00	12:30:00	1604	19	4
		12:30:00	12:45:00	1408	18	5
		12:45:00	13:00:00	1436	20	4
		13:00:00	13:15:00	1607	20	5
		13:15:00	13:30:00	1577	27	4
		13:30:00	13:45:00	1532	22	6
		13:45:00	14:00:00	1616	22	4
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	1119	23	4
		17:15:00	17:30:00	1253	18	5
		17:30:00	17:45:00	956	18	3
		17:45:00	18:00:00	977	16	4
		18:00:00	18:15:00	1285	21	5
		18:15:00	18:30:00	1004	19	6
		18:30:00	18:45:00	962	17	4
		18:45:00	19:00:00	1012	17	6

### 2.2.7 Datos en el punto 7

En la **Tabla 2.8 Datos recolectados en el punto 7**, se puede observar el flujo vehicular de los vehículos livianos que hacen giro a la izquierda, por debajo del paso a desnivel, provenientes de la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte. En la franja 1 que es en la mañana se puede notar que la cantidad de vehículos es un poco alta, debido a la hora pico, mientras que en la tarde y noche no hay mayor variabilidad. Este giro es protegido

con el semáforo, ya que la Metrovía pasa por el carril izquierdo, por lo que no hay mayor inconveniente.

**Tabla 2.8 Datos recolectados en el punto 7**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 7				
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	235
		7:15:00	7:30:00	211
		7:30:00	7:45:00	220
		7:45:00	8:00:00	207
		8:00:00	8:15:00	240
		8:15:00	8:30:00	183
		8:30:00	8:45:00	195
		8:45:00	9:00:00	209
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	185
		12:15:00	12:30:00	218
		12:30:00	12:45:00	179
		12:45:00	13:00:00	217
		13:00:00	13:15:00	236
		13:15:00	13:30:00	233
		13:30:00	13:45:00	216
		13:45:00	14:00:00	180
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	208
		17:15:00	17:30:00	193
		17:30:00	17:45:00	191
		17:45:00	18:00:00	183
		18:00:00	18:15:00	169
		18:15:00	18:30:00	175
		18:30:00	18:45:00	181
		18:45:00	19:00:00	173

### 2.2.8 Datos en el punto 8

Es el punto con menor flujo vehicular tal y como se puede observar en la

**Tabla 2.9 Datos recolectados en el punto 8**, esto se debe a que los vehículos que deciden irse largo tienen la opción de tomar el paso a desnivel, en vez de irse por abajo, al menos que salgan de algún lugar que no les permita tomar el paso a desnivel. Por otro lado, los que giran a la derecha, el mayor porcentaje tiene como destino el ITB como ya se

mencionó, y el otro pequeño porcentaje otros destinos. Este flujo disminuye en la franja 3, ya que el número de estudiantes y las clases dictadas en ese horario es menor con respecto a la mañana y mediodía.

**Tabla 2.9 Datos recolectados en el punto 8**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 8					
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	
				Largo	Giro a la derecha
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	25	10
		7:15:00	7:30:00	27	12
		7:30:00	7:45:00	24	13
		7:45:00	8:00:00	26	14
		8:00:00	8:15:00	21	8
		8:15:00	8:30:00	18	14
		8:30:00	8:45:00	23	8
		8:45:00	9:00:00	17	14
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	26	22
		12:15:00	12:30:00	18	21
		12:30:00	12:45:00	23	25
		12:45:00	13:00:00	19	23
		13:00:00	13:15:00	24	21
		13:15:00	13:30:00	22	21
		13:30:00	13:45:00	20	21
		13:45:00	14:00:00	19	15
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	35	13
		17:15:00	17:30:00	22	8
		17:30:00	17:45:00	23	7
		17:45:00	18:00:00	34	9
		18:00:00	18:15:00	26	12
		18:15:00	18:30:00	34	16
		18:30:00	18:45:00	22	17
		18:45:00	19:00:00	26	13

### 2.2.9 Datos en el punto 9

En este punto se tomó el flujo de todos los vehículos que pasan por la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte. Una vez más, como ya se mencionó el flujo de la Metrovía es casi constante, con un promedio de 4

vehículos cada quince minutos. Por otro lado, tenemos el flujo de los vehículos livianos, que en este caso es menor que la cantidad que pasa por la misma vía, pero en sentido contrario, o sea en sentido norte sur. Se aprecia en la **Tabla 2.10 Datos recolectados en el punto 9** que la franja 1 es donde se concentra la mayor cantidad de vehículos, en algunos casos este flujo supera los mil vehículos. La franja 2 y 3 tienen cantidades parecidas a pesar de que, son tomadas en distintas horas, y en ninguno de los flujos dentro de estas franjas se supera los mil vehículos dentro de los quince minutos.

**Tabla 2.10 Datos recolectados en el punto 9**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en el punto 9					
N° de Franja	Hora	Frecuencia		Vehículos livianos	Metrovía
Franja 1	7:00:00 - 9:00:00	7:00:00	7:15:00	862	4
		7:15:00	7:30:00	997	3
		7:30:00	7:45:00	901	4
		7:45:00	8:00:00	1007	6
		8:00:00	8:15:00	1035	3
		8:15:00	8:30:00	946	5
		8:30:00	8:45:00	847	4
		8:45:00	9:00:00	868	4
Franja 2	12:00:00 - 14:00:00	12:00:00	12:15:00	723	4
		12:15:00	12:30:00	785	4
		12:30:00	12:45:00	889	6
		12:45:00	13:00:00	817	5
		13:00:00	13:15:00	858	3
		13:15:00	13:30:00	774	4
		13:30:00	13:45:00	831	5
		13:45:00	14:00:00	726	3
Franja 3	17:00:00 - 19:00:00	17:00:00	17:15:00	970	4
		17:15:00	17:30:00	724	3
		17:30:00	17:45:00	821	6
		17:45:00	18:00:00	880	5
		18:00:00	18:15:00	723	4
		18:15:00	18:30:00	807	5
		18:30:00	18:45:00	729	6
		18:45:00	19:00:00	756	5

### 2.2.1 Datos en la entrada y salida del Puerto Santa Ana

En este punto se tomó la cantidad de vehículos que entran y salen del Puerto Santa Ana, en las horas pico de 7am a 9am y de 5pm a 7pm, tal y como se observa en la **Tabla 2.11 Recolección de datos Puerto Santa Ana**. Se observa que por la mañana ingresan un mayor número de vehículos de los que salen, caso contrario pasa en la tarde donde el número de vehículos que salen es mayor a los que ingresan

**Tabla 2.11 Recolección de datos Puerto Santa Ana**

Fuente: Los autores

Recolección de datos en la entrada y salida del Puerto Santa Ana			
Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	440	225
8:00:00	9:00:00	530	208
17:00:00	18:00:00	190	470
18:00:00	19:00:00	201	602

Además, en este punto se tomó el tiempo en el que ingresan y salen 1000 vehículos, tal y como se observa en la **Tabla 2.12 Datos de entrada y salida por cada 1000 vehículos**. Esto ayudará en el capítulo 3 a estimar cuantos vehículos entran y salen por hora del Puerto Santa Ana.

**Tabla 2.12 Datos de entrada y salida por cada 1000 vehículos**

Fuente: Los autores

Número de ingreso y salida de vehículos	Tiempo de ingreso	Tiempo de salida
1000	2h9min	3h12min

### 2.3 Selección de recursos

Debido al limitado recurso que se obtuvo al momento de levantar información, puede haber un pequeño margen de error en las cantidades de flujos vehiculares, pero la mayoría de los datos están muy apegados a la realidad. Como

se puede observar en la **Figura 2.13 Contador mecánico de 4 dígitos**, se utilizó este aparato que ayudó a contar el flujo vehicular en cada uno de los puntos estratégicos del sector.



**Figura 2.13 Contador mecánico de 4 dígitos**

Fuente: Google Imágenes

## **2.4 Descripción del modelo de micro simulación**

Se describirá los aspectos del modelo de micro simulación. Estos serían: las variables del modelo, la zona de estudio, las rutas de la zona, tipo de vehículo que transita en la zona, limitaciones del modelo de micro simulación.

### **2.4.1 Variables del modelo de micro simulación**

#### **2.4.1.1 Estructura vial**

Para poder recrear el recorrido real configuramos la estructura vial, con una medición en las vías de 3.5m de ancho por carril, siguiendo el sentido de las vías reales. Esta medida de los carriles fue considerada del artículo 2A.204.6.3 (2), de la “NORMATIVA ECUATORIANA VIAL NEVI-12” desarrollada por el Ministerio de Transporte Y Obras Públicas del Ecuador. El detalle de este artículo se lo puede observar en el literal **2.7.1 Norma Ecuatoriana vial NEVI-12.**

La **Figura 2.14 Estructura vial de la zona de estudio en PTV Vissim** muestra una estructura de las vías en el

software PTV Vissim 2020. Debido a que las vías pasan de  $n$  carriles a  $n+1$  carriles y viceversa se crearon múltiples conexiones entre los carriles, esto asemeja mucho a los tipos de movimientos que tienen los vehículos reales al momento de cambiar de carril. Esta estructura simula a la Avenida Pedro Menéndez desde la altura del hospital de Neurociencias hasta su intersección con la Plaza Dañin.

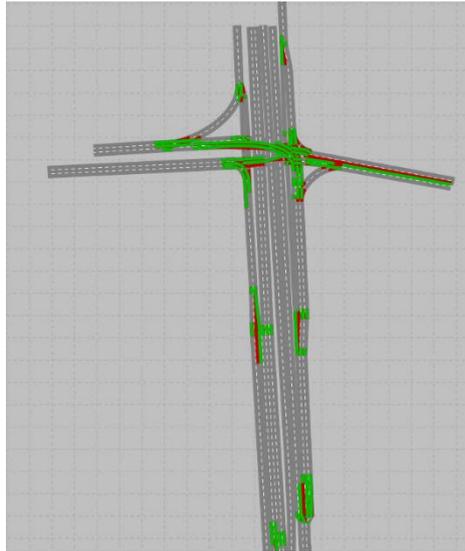


**Figura 2.14 Estructura vial de la zona de estudio en PTV Vissim**

Fuente: PTV Vissim 2020

#### **2.4.1.2 Zonas de conflicto**

Al generar la estructura de las calles, podemos notar que existen varias intersecciones entre los recorridos que deberían seguir las vías, a estas intersecciones las conoceremos como Zonas de conflicto. En la **Figura 2.15 Zonas de conflicto de la zona de estudio en PTV Vissim** podremos notar que la zona a estudiar cuenta con muchas zonas de conflicto. Donde las zonas resaltadas de verde son los movimientos con preferencias de paso.



**Figura 2.15 Zonas de conflicto de la zona de estudio en PTV Vissim**

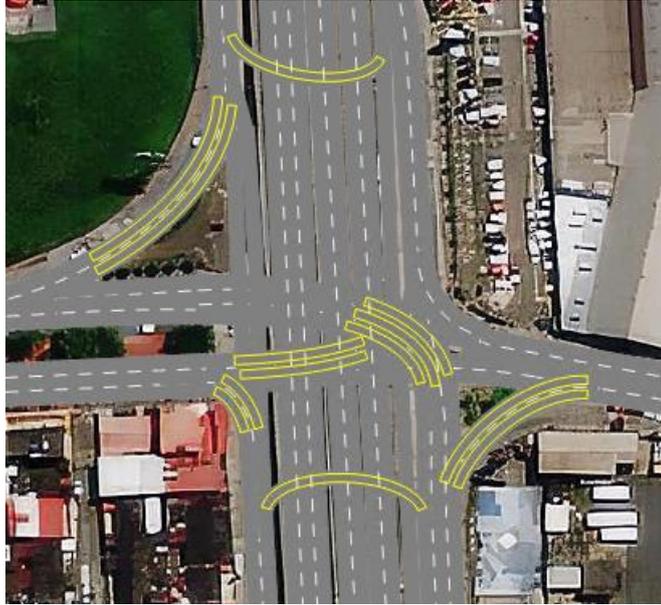
Fuente: PTV Vissim 2020

#### **2.4.1.3 Tipos de vehículos**

Vissim nos da una gama de opciones de transportes que pueden circular por nuestra simulación, en este caso escogeremos los vehículos livianos y bus debido a que por el área pasa el servicio de transporte publico Metrovía y los buses de Durán y Samborondón.

#### **2.4.1.4 Reducción de velocidad**

Se utilizarán reductores de velocidad en los giros como se observa en **Figura 2.16 Puntos de reducción de velocidad en PTV Vissim**, simulando un movimiento más real de vehículos, tomando como velocidad de giro 12 km/h lo que ayudara a que la simulación se vea más real.



**Figura 2.16 Puntos de reducción de velocidad en PTV Vissim**

Fuente: PTV Vissim 2020

#### **2.4.1.5 Ingreso del flujo vehicular**

Para este proceso se recolectaron datos reales de la zona, mientras más cuidado y precisión se tenga al momento de tomar los datos, más fácil se nos hará el poder calibrar y replicar la realidad. Para poder colocar los datos en el software se hicieron mediciones con intervalos de 15 minutos que son equivalentes a 900 segundos, en estos intervalos se midió el flujo vehicular para poder colocarlos en la pestaña de "Vehicles volumen by time interval". Los datos de estos flujos se lo observan en la **Figura 2.17 Flujo vehicular en PTV Vissim.**

Count: 12	Cont	TimeInt	Volume	VehComp	VolType
1	<input type="checkbox"/>	0-900	862,0	2	Stochastic
2	<input type="checkbox"/>	900-1800	997,0	2	Stochastic
3	<input type="checkbox"/>	1800-2700	901,0	2	Stochastic
4	<input type="checkbox"/>	2700-3600	1007,0	2	Stochastic
5	<input type="checkbox"/>	3600-4500	1035,0	2	Stochastic
6	<input type="checkbox"/>	4500-5400	946,0	2	Stochastic
7	<input type="checkbox"/>	5400-6300	847,0	2	Stochastic
8	<input type="checkbox"/>	6300-7200	868,0	2	Stochastic
9	<input type="checkbox"/>	7200-8100	983,0	2	Stochastic
10	<input type="checkbox"/>	8100-9000	927,0	2	Stochastic
11	<input type="checkbox"/>	9000-9900	943,0	2	Stochastic
12	<input type="checkbox"/>	9900-MAX	1006,0	2	Stochastic

**Figura 2.17 Flujo vehicular en PTV Vissim**

Fuente: PTV Vissim 2020

#### 2.4.1.6 Semaforización

Para poder colocar los tiempos de semáforo se tomaron los datos reales y se colocó el periodo de tiempo en el que funcionan los rangos de colores. Se contabilizaron un total de diez semáforos en el sector, tal y como se lo puede observar en la **Figura 2.18 Semáforos en el sector etiquetados de la A a la J**.



**Figura 2.18 Semáforos en el sector etiquetados de la A a la J**

Fuente: Google Maps

Al momento de recolectar los tiempos semafóricos, se notó que estos cuentan con tiempos dinámico. En el horario de la mañana hasta la 9h30 am tienen un tiempo total de ciclo de 90 segundos, tal y como se observa en la **Figura 2.19 Tiempo semafórico de 90 segundos**, para cada uno de los semáforos. Además, se observa, que existen tres fases para estos semáforos.

A	50		3	37		
B	50		3	22	15	
C	5	3	67			15
D	5	50		3	32	
E	61			9	3	17
F	3	67			3	17
G	53			17	3	17
H	66			5	2	17
I	50		3	22		15
J	3	70			17	

**Figura 2.19 Tiempo semafórico de 90 segundos**

Fuente: Los autores

A partir de las 9h30 am en adelante este tiempo de ciclo en los semáforos cambia de 90 a 120 segundos, tal y como se observa en la **Figura 2.20 Tiempo semafórico de 120 segundos**, para cada uno de los semáforos. También se observa que tanto los grupos de semáforos de 90 y 120 segundos están sincronizados de manera perfecta.

A	72		3	45		
B	72		3	22	23	
C	3	3	91			23
D	3	70		3	44	
E	84			8	3	25
F	3	59			3	25
G	75			17	3	25
H	86			7	2	25
I	72		3	22		23
J	3	92			25	

**Figura 2.20 Tiempo semafórico de 120 segundos**

Fuente: Los autores

## **2.5 Uso de Software**

A continuación, se mencionan las herramientas tecnológicas que se usaron a lo largo de este capítulo, que permitieron la realización de la microsimulación, así como, el procesamiento de los datos y la búsqueda de información en la web.

### **2.5.1 PTV Vissim**

Software que permite la realización de modelos de transporte en una vía que tiene una composición grande de parámetros. Además, permite simular el tráfico de acuerdo con el flujo vehicular y otros parámetros que se ingresen al software. Otro punto importante, es que se puede modificar de manera rápida una situación base, para generar varios escenarios según sea el caso para resolver un problema (PTV Group, 2022).

En el presente proyecto, esta herramienta es la principal de todas, ya que permitió realizar toda la microsimulación de la situación base con los datos previos obtenidos. Permite obtener algunas alternativas de solución al problema, partiendo de la situación base, modificando los parámetros según la conveniencia del problema a resolver.

### **2.5.2 Microsoft Excel**

Forma parte de los paquetes de la empresa Microsoft y es el software de hojas de cálculo más grande y usado en el mundo. Microsoft Excel es una herramienta que permite hacer un sin números de trabajos, como sintetizar la información en gráficos, realizar cálculos con fórmulas modernas, organizar la información, trabajar desde varios dispositivos a la vez en la misma hoja de cálculo, entre otras funciones (Microsoft, 2022).

Con esta herramienta se pudo organizar toda la información levantada a lo largo de este proyecto. Facilitó la realización de tablas donde iba toda la información de los flujos vehiculares.

### 2.5.3 Google Maps

Es una herramienta de Google que provee imágenes desplazables en 360° de la mayoría de las calles del mundo. Cuenta con varias funciones, como encontrar la ubicación geográfica de cualquier lugar o de la persona en tiempo real, calcula el tiempo de un punto a otro, entre otras funciones.

Esta Herramienta permitió la ubicación sobre la zona de estudio y tener un panorama general de la zona de estudio. Además, ayudó a encontrar información sobre que tipo de vehículos utilizan las calles del sector de estudio.

## 2.6 Calibración del modelo de micro simulación

La calibración de los datos es parte de las buenas prácticas al momento de simular. El ver como los datos simulados se relacionan con los datos reales, puede dar una idea de si ha estado haciendo bien el trabajo o se tendría que revisar de nuevo el proceso para comprender donde pudieron darse las fallas.

### 2.6.1 Número de simulaciones

Se realiza el cálculo del número adecuado de Simulaciones utilizando la fórmula de la **ecuación (1.2)** mencionada en el literal **1.4.2.3 Número de simulaciones**. Para hacer uso de esta ecuación ya mencionada, se calculó los datos simulados para cada zona de salida de la zona de estudio.

Antes de mostrar los datos simulados, se aclara que para poder hacer la simulación se necesita los datos de todo el horario, o sea de cada franja y los datos entre cada franja. Dado que no se tiene el horario de cada franja, se realizó un promedio entre cada franja para obtener estos datos, todo esto con el fin de poder hacer la simulación.

Se obtuvieron tres zonas de salida, las cuales se describen a continuación:

1. **Zona de salida 1.-** Av. Pedro Menéndez sur norte, que son los datos de sumar los puntos estratégicos 3, 5 y 8. Los datos obtenidos se los observa en la **Tabla 2.13 Datos reales y simulados de Zona salida 1.**

**Tabla 2.13 Datos reales y simulados de Zona salida 1**

**Fuente: Los autores**

Hora		Salida Pedro M. SN				
		P3	P5	P8	Real	Simulado
7:00:00	7:15:00	86	382	25	493	481
7:15:00	7:30:00	77	388	27	492	480
7:30:00	7:45:00	85	374	24	483	486
7:45:00	8:00:00	73	332	26	431	429
8:00:00	8:15:00	67	323	21	411	446
8:15:00	8:30:00	77	336	18	431	386
8:30:00	8:45:00	71	327	23	421	454
8:45:00	9:00:00	65	340	17	422	379
9:00:00	9:15:00	69	306	20	395	363
9:15:00	9:30:00	62	310	22	394	400
9:30:00	9:45:00	68	299	19	386	357
9:45:00	10:00:00	58	266	21	345	363
10:00:00	10:15:00	54	258	17	329	326
10:15:00	10:30:00	62	269	14	345	428
10:30:00	10:45:00	57	262	18	337	339
10:45:00	11:00:00	52	272	14	338	365
11:00:00	11:15:00	55	245	16	316	338
11:15:00	11:30:00	50	248	18	316	280
11:30:00	11:45:00	54	239	15	308	321
11:45:00	12:00:00	46	213	17	276	286
12:00:00	12:15:00	49	313	26	388	426
12:15:00	12:30:00	48	272	18	338	373
12:30:00	12:45:00	70	304	23	397	402
12:45:00	13:00:00	74	296	19	389	379
13:00:00	13:15:00	63	304	24	391	424
13:15:00	13:30:00	62	281	22	365	373
13:30:00	13:45:00	73	280	20	373	398
13:45:00	14:00:00	67	275	19	361	339
14:00:00	14:15:00	39	250	21	310	350
14:15:00	14:30:00	38	218	14	270	316
14:30:00	14:45:00	56	243	18	317	312
14:45:00	15:00:00	59	237	15	311	299
15:00:00	15:15:00	50	243	19	312	325
15:15:00	15:30:00	50	225	18	293	287
15:30:00	15:45:00	58	224	16	298	321
15:45:00	16:00:00	54	220	15	289	329
16:00:00	16:15:00	31	200	17	248	254
16:15:00	16:30:00	30	174	11	215	238
16:30:00	16:45:00	45	194	14	253	266
16:45:00	17:00:00	47	190	12	249	276
17:00:00	17:15:00	65	391	35	491	463
17:15:00	17:30:00	55	367	22	444	436
17:30:00	17:45:00	58	429	23	510	478
17:45:00	18:00:00	50	420	34	504	490
18:00:00	18:15:00	60	390	26	476	506
18:15:00	18:30:00	44	387	34	465	476
18:30:00	18:45:00	50	438	22	510	480
18:45:00	19:00:00	60	420	26	506	513

2. **Zona de salida 2.-** Av. Pedro Menéndez norte sur, que son los datos de sumar los puntos estratégicos 4, 6 y 2. Los datos obtenidos se los observa en la **Tabla 2.14 Datos reales y simulados de Zona salida 2.**

**Tabla 2.14 Datos reales y simulados de Zona salida 2**

**Fuente: Los autores**

Hora		Salida Pedro M. NS				
		P2	P4	P6	Real	Simulado
7:00:00	7:15:00	78	318	1554	1950	1862
7:15:00	7:30:00	70	309	1596	1975	1985
7:30:00	7:45:00	77	326	1698	2101	2051
7:45:00	8:00:00	96	293	1625	2014	2062
8:00:00	8:15:00	74	272	1675	2021	1991
8:15:00	8:30:00	70	313	1458	1841	1849
8:30:00	8:45:00	69	302	1495	1866	1844
8:45:00	9:00:00	58	290	1582	1930	1893
9:00:00	9:15:00	62	255	1243	1560	1537
9:15:00	9:30:00	56	247	1277	1580	1600
9:30:00	9:45:00	62	261	1358	1681	1695
9:45:00	10:00:00	77	234	1300	1611	1615
10:00:00	10:15:00	59	218	1340	1617	1632
10:15:00	10:30:00	56	251	1166	1473	1453
10:30:00	10:45:00	55	241	1196	1492	1542
10:45:00	11:00:00	46	232	1266	1544	1545
11:00:00	11:15:00	50	204	994	1248	1215
11:15:00	11:30:00	45	198	1022	1265	1222
11:30:00	11:45:00	50	209	1086	1345	1334
11:45:00	12:00:00	62	187	1040	1289	1291
12:00:00	12:15:00	62	272	1491	1825	1824
12:15:00	12:30:00	63	308	1604	1975	1935
12:30:00	12:45:00	75	259	1408	1742	1704
12:45:00	13:00:00	73	273	1436	1782	1817
13:00:00	13:15:00	76	268	1607	1951	1958
13:15:00	13:30:00	58	306	1577	1941	1975
13:30:00	13:45:00	78	272	1532	1882	1868
13:45:00	14:00:00	64	288	1616	1968	1944
14:00:00	14:15:00	50	217	1193	1460	1414
14:15:00	14:30:00	50	247	1283	1580	1537
14:30:00	14:45:00	60	208	1126	1394	1356
14:45:00	15:00:00	58	219	1149	1426	1413
15:00:00	15:15:00	61	214	1286	1561	1599
15:15:00	15:30:00	46	245	1262	1553	1519
15:30:00	15:45:00	62	217	1226	1505	1468
15:45:00	16:00:00	51	230	1293	1574	1613
16:00:00	16:15:00	40	173	954	1167	1215
16:15:00	16:30:00	40	198	1026	1264	1227
16:30:00	16:45:00	48	166	901	1115	1100
16:45:00	17:00:00	46	175	919	1140	1183
17:00:00	17:15:00	69	296	1119	1484	1507
17:15:00	17:30:00	62	299	1253	1614	1573
17:30:00	17:45:00	57	289	956	1302	1260
17:45:00	18:00:00	41	305	977	1323	1304
18:00:00	18:15:00	58	305	1285	1648	1637
18:15:00	18:30:00	74	297	1004	1375	1384
18:30:00	18:45:00	52	288	962	1302	1255
18:45:00	19:00:00	64	304	1012	1380	1350

3. **Zona de salida 3.-** Calle Carlos Plaza Dañin este oeste, que son los datos de sumar los puntos estratégicos 2 y 7. Los datos obtenidos se los observa en la **Tabla 2.15 Datos reales y simulados de Zona salida 3.**

**Tabla 2.15 Datos reales y simulados de Zona salida 3**

**Fuente: Los autores**

Hora		Salida Plaza D. OE			
		P2	P7	Real	Simulado
7:00:00	7:15:00	543	235	778	756
7:15:00	7:30:00	534	211	745	695
7:30:00	7:45:00	481	220	701	639
7:45:00	8:00:00	532	207	739	717
8:00:00	8:15:00	547	240	787	765
8:15:00	8:30:00	501	183	684	694
8:30:00	8:45:00	501	195	696	695
8:45:00	9:00:00	460	209	669	702
9:00:00	9:15:00	434	188	622	601
9:15:00	9:30:00	427	169	596	540
9:30:00	9:45:00	385	176	561	568
9:45:00	10:00:00	426	166	592	659
10:00:00	10:15:00	438	192	630	632
10:15:00	10:30:00	401	146	547	600
10:30:00	10:45:00	401	156	557	516
10:45:00	11:00:00	368	167	535	504
11:00:00	11:15:00	347	150	497	451
11:15:00	11:30:00	342	135	477	457
11:30:00	11:45:00	308	141	449	413
11:45:00	12:00:00	341	133	474	549
12:00:00	12:15:00	450	185	635	634
12:15:00	12:30:00	552	218	770	792
12:30:00	12:45:00	410	179	589	645
12:45:00	13:00:00	560	217	777	759
13:00:00	13:15:00	385	236	621	653
13:15:00	13:30:00	432	233	665	594
13:30:00	13:45:00	395	216	611	613
13:45:00	14:00:00	407	180	587	549
14:00:00	14:15:00	360	148	508	524
14:15:00	14:30:00	442	174	616	662
14:30:00	14:45:00	328	143	471	493
14:45:00	15:00:00	448	174	622	606
15:00:00	15:15:00	308	189	497	453
15:15:00	15:30:00	346	186	532	503
15:30:00	15:45:00	316	173	489	484
15:45:00	16:00:00	326	144	470	521
16:00:00	16:15:00	288	118	406	476
16:15:00	16:30:00	354	139	493	548
16:30:00	16:45:00	262	114	376	449
16:45:00	17:00:00	358	139	497	442
17:00:00	17:15:00	550	208	758	728
17:15:00	17:30:00	540	193	733	755
17:30:00	17:45:00	628	191	819	761
17:45:00	18:00:00	536	183	719	670
18:00:00	18:15:00	662	169	831	823
18:15:00	18:30:00	632	175	807	837
18:30:00	18:45:00	570	181	751	791
18:45:00	19:00:00	640	173	813	793

**Tabla 2.16 Cálculo del número de iteraciones**

**Fuente: Los autores**

<b>Cálculo del número de simulaciones</b>			
	<b>PM SN</b>	<b>PM NS</b>	<b>PD EO</b>
Lambda ( $\lambda$ ) =	11,3605678	12,2230251	49,4640021
Normal estándar (Z) =	1,96	1,96	1,96
Promedio =	325,4375	1090,8125	553,25
Error =	0,05	0,05	0,05
Número de simulaciones =	21,8725655	23,19294314	19,2830945

De esta **Tabla 2.16 Cálculo del número de iteraciones** de datos, se obtuvo como resultado que se necesita un aproximado de 22 simulaciones para la zona de salida 1, 23 simulaciones para la zona de salida 2 y 19 simulaciones para la zona de salida 3. Ahora con estos datos se empezó a calibrar el modelo de microsimulación.

### 2.6.2 Estadístico GEH

Para proceder con la calibración se utilizó el estadístico GEH, que se lo puede observar en la **ecuación (2. 1)**, que es una variación del estadístico Chi-Cuadrado. Este estadístico hace una comparación entre los datos reales y los simulados del volumen o flujo vehicular. Se usan los parámetros y fórmulas:

S: Flujo simulado

R: Flujo real

$$GEH = \sqrt{\frac{2 * (S - R)^2}{R + S}} \quad (2. 1)$$

Este estadístico ayuda a representar si los datos que tenemos en la simulación son útiles para el estudio, en este caso todo GEH menor a 5 unidades indica un flujo correctamente ajustado. Un GEH entre 10 y 5 indica que se necesita una revisión de los flujos y los valores mayores a 10

nos indican que los datos ingresados son erróneos por lo que no deberían tomarse en cuenta para la simulación. Este estadístico se lo realiza para las tres zonas de salidas.

Como se observa en la **Tabla 2.17 Resultados del estadístico GEH zona de salida 1**, no existen datos erróneos en el estadístico GEH, todos cumplen con el criterio de estar entre 0 y 5. Por lo que la información se encuentra validada.

**Tabla 2.17 Resultados del estadístico GEH zona de salida 1**

**Fuente: Los autores**

Frecuencia		Salida Pedro M. SN		
		Real	Simulado	GEH
7:00:00	7:15:00	493	481	0,54377191
7:15:00	7:30:00	492	480	0,54433105
7:30:00	7:45:00	483	486	0,13629326
7:45:00	8:00:00	431	429	0,09644856
8:00:00	8:15:00	411	446	1,69080153
8:15:00	8:30:00	431	386	2,22646813
8:30:00	8:45:00	421	454	1,57770176
8:45:00	9:00:00	422	379	2,14865751
9:00:00	9:15:00	395	363	1,64372959
9:15:00	9:30:00	394	400	0,30113137
9:30:00	9:45:00	386	357	1,50459145
9:45:00	10:00:00	345	363	0,95668921
10:00:00	10:15:00	329	326	0,16577369
10:15:00	10:30:00	345	428	4,22185529
10:30:00	10:45:00	337	339	0,10878566
10:45:00	11:00:00	338	365	1,44012802
11:00:00	11:15:00	316	338	1,21660278
11:15:00	11:30:00	316	280	2,08542401
11:30:00	11:45:00	308	321	0,73304904
11:45:00	12:00:00	276	286	0,59654999
12:00:00	12:15:00	388	426	1,88359007
12:15:00	12:30:00	338	373	1,85630033
12:30:00	12:45:00	397	402	0,2501564
12:45:00	13:00:00	389	379	0,51031036
13:00:00	13:15:00	391	424	1,63474544
13:15:00	13:30:00	365	373	0,41646337
13:30:00	13:45:00	373	398	1,27329143
13:45:00	14:00:00	361	339	1,17594946
14:00:00	14:15:00	310	350	2,20192753
14:15:00	14:30:00	270	316	2,68734869
14:30:00	14:45:00	317	312	0,28194194
14:45:00	15:00:00	311	299	0,687118
15:00:00	15:15:00	312	325	0,72843136

15:15:00	15:30:00	293	287	0,35233213
15:30:00	15:45:00	298	321	1,30736697
15:45:00	16:00:00	289	329	2,2755205
16:00:00	16:15:00	248	254	0,37871664
16:15:00	16:30:00	215	238	1,52824764
16:30:00	16:45:00	253	266	0,80700211
16:45:00	17:00:00	249	276	1,66647618
17:00:00	17:15:00	491	463	1,28203193
17:15:00	17:30:00	444	436	0,38138504
17:30:00	17:45:00	510	478	1,43974807
17:45:00	18:00:00	504	490	0,62798583
18:00:00	18:15:00	476	506	1,35388105
18:15:00	18:30:00	465	476	0,50712249
18:30:00	18:45:00	510	480	1,34839972
18:45:00	19:00:00	506	513	0,31011727

En la **Tabla 2.18 Resultados del estadístico GEH zona de salida 2**, se muestra que los datos están perfectamente calibrados y, por lo tanto, la información recolectada es correcta.

**Tabla 2.18 Resultados del estadístico GEH zona de salida 2**

**Fuente: Los autores**

Frecuencia		Salida Pedro M. NS		
		Real	Simulado	GEH
7:00:00	7:15:00	1950	1862	2,01567832
7:15:00	7:30:00	1975	1985	0,22473329
7:30:00	7:45:00	2101	2051	1,0973782
7:45:00	8:00:00	2014	2062	1,0632592
8:00:00	8:15:00	2021	1991	0,66981642
8:15:00	8:30:00	1841	1849	0,18624808
8:30:00	8:45:00	1866	1844	0,51079981
8:45:00	9:00:00	1930	1893	0,84628097
9:00:00	9:15:00	1560	1537	0,58448347
9:15:00	9:30:00	1580	1600	0,50156986
9:30:00	9:45:00	1681	1695	0,34075467
9:45:00	10:00:00	1611	1615	0,09959621
10:00:00	10:15:00	1617	1632	0,37216146
10:15:00	10:30:00	1473	1453	0,52288699
10:30:00	10:45:00	1492	1542	1,28374041
10:45:00	11:00:00	1544	1545	0,02544521
11:00:00	11:15:00	1248	1215	0,9403656
11:15:00	11:30:00	1265	1222	1,21939823
11:30:00	11:45:00	1345	1334	0,30055318
11:45:00	12:00:00	1289	1291	0,0556846
12:00:00	12:15:00	1825	1824	0,02341144
12:15:00	12:30:00	1975	1935	0,90466255

12:30:00	12:45:00	1742	1704	0,91546334
12:45:00	13:00:00	1782	1817	0,82507251
13:00:00	13:15:00	1951	1958	0,15833619
13:15:00	13:30:00	1941	1975	0,76837384
13:30:00	13:45:00	1882	1868	0,32331615
13:45:00	14:00:00	1968	1944	0,54265876
14:00:00	14:15:00	1460	1414	1,21347113
14:15:00	14:30:00	1580	1537	1,08921861
14:30:00	14:45:00	1394	1356	1,02478379
14:45:00	15:00:00	1426	1413	0,34504493
15:00:00	15:15:00	1561	1599	0,95599375
15:15:00	15:30:00	1553	1519	0,86752762
15:30:00	15:45:00	1505	1468	0,95966414
15:45:00	16:00:00	1574	1613	0,97698652
16:00:00	16:15:00	1167	1215	1,39086621
16:15:00	16:30:00	1264	1227	1,04840687
16:30:00	16:45:00	1115	1100	0,45073304
16:45:00	17:00:00	1140	1183	1,26170798
17:00:00	17:15:00	1484	1507	0,59475024
17:15:00	17:30:00	1614	1573	1,0270884
17:30:00	17:45:00	1302	1260	1,17347739
17:45:00	18:00:00	1323	1304	0,52425015
18:00:00	18:15:00	1648	1637	0,27141884
18:15:00	18:30:00	1375	1384	0,24231576
18:30:00	18:45:00	1302	1255	1,31446035
18:45:00	19:00:00	1380	1350	0,81199794

En la **Tabla 2.19 Resultados del estadístico GEH zona de salida 3**, se observa que los datos cumplen con los requisitos del estadístico GEH, por lo que información es apta para ser utilizada en la simulación.

**Tabla 2.19 Resultados del estadístico GEH zona de salida 3**

**Fuente: Los autores**

Frecuencia		Salida Plaza D. EO		
		Real	Simulado	GEH
7:00:00	7:15:00	778	756	0,79437396
7:15:00	7:30:00	745	695	1,86338998
7:30:00	7:45:00	701	639	2,39526897
7:45:00	8:00:00	739	717	0,81537425
8:00:00	8:15:00	787	765	0,78975397
8:15:00	8:30:00	684	694	0,38096966
8:30:00	8:45:00	696	695	0,03791852
8:45:00	9:00:00	669	702	1,26040527
9:00:00	9:15:00	622	601	0,84922166
9:15:00	9:30:00	596	540	2,3497078
9:30:00	9:45:00	561	568	0,29462261

9:45:00	10:00:00	592	659	2,67892864
10:00:00	10:15:00	630	632	0,07961874
10:15:00	10:30:00	547	600	2,21314138
10:30:00	10:45:00	557	516	1,77010486
10:45:00	11:00:00	535	504	1,36009398
11:00:00	11:15:00	497	451	2,11284998
11:15:00	11:30:00	477	457	0,92548963
11:30:00	11:45:00	449	413	1,73405898
11:45:00	12:00:00	474	549	3,31618266
12:00:00	12:15:00	635	634	0,03969942
12:15:00	12:30:00	770	792	0,78722189
12:30:00	12:45:00	589	645	2,25447511
12:45:00	13:00:00	777	759	0,64951905
13:00:00	13:15:00	621	653	1,26788616
13:15:00	13:30:00	665	594	2,82983088
13:30:00	13:45:00	611	613	0,08084521
13:45:00	14:00:00	587	549	1,59444458
14:00:00	14:15:00	508	524	0,70436073
14:15:00	14:30:00	616	662	1,81973188
14:30:00	14:45:00	471	493	1,00207254
14:45:00	15:00:00	622	606	0,64570745
15:00:00	15:15:00	497	453	2,01885846
15:15:00	15:30:00	532	503	1,27480225
15:30:00	15:45:00	489	484	0,22668803
15:45:00	16:00:00	470	521	2,29112269
16:00:00	16:15:00	406	476	3,33333333
16:15:00	16:30:00	493	548	2,41075082
16:30:00	16:45:00	376	449	3,59427154
16:45:00	17:00:00	497	442	2,53831135
17:00:00	17:15:00	758	728	1,10059326
17:15:00	17:30:00	733	755	0,80655913
17:30:00	17:45:00	819	761	2,06354739
17:45:00	18:00:00	719	670	1,85934489
18:00:00	18:15:00	831	823	0,27818726
18:15:00	18:30:00	807	837	1,04637016
18:30:00	18:45:00	751	791	1,44056481
18:45:00	19:00:00	813	793	0,70578467

## 2.7 Consideraciones éticas y legales

En esta sección se explica los principales principios éticos y legales que se establecen en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, en la Ley de Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre y en la Norma Ecuatoriana vial NEVI-12. Estas dos leyes y norma se toman en cuenta debido a que, el presente proyecto tiene como problemática la congestión vehicular, en un sector de la ciudad de Guayaquil. A continuación, se mencionan los puntos más importantes de cada artículo, que van de acorde con la realización del presente proyecto.

### 2.7.1 Norma Ecuatoriana vial NEVI-12

Esta Normativa desarrollada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, explica todo lo relacionado con la construcción de caminos y puentes a lo largo del territorio ecuatoriano. Esta Norma menciona sobre las medidas de los carriles en autopistas en el siguiente artículo:

**Art. 2A.204.6.3 (2).** - Las Autopistas en el territorio ecuatoriano deben tener por sentido de vía un mínimo de tres carriles para circular, con un ancho máximo de 3.65 metros por carril, en el que la medida estándar se establece de 3.5 metros por carril. El pavimento de las autopistas debe de ser de alta calidad, de tal forma que permita un deslizamiento adecuado sobre la superficie de rodaje (Torres E., y otros, 2013).

Este artículo 2A.204.6.3 de la Norma Ecuatoriana vial, es muy importante para el presente proyecto, porque permite definir las medidas correctas para los carriles en el modelo de microsimulación. Las medidas reales del sector de estudio no se las pudo tomar, debido al alto flujo de vehículos que pasan en el sector de manera ininterrumpida y por otra parte para salvaguardar la integridad de los autores.

### **2.7.2 Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito Y Seguridad Vial**

Esta Ley tienen como finalidad la protección de las personas y bienes que hacen uso de la red vial a lo largo de todo el país de Ecuador, así como los lugares adyacentes que forman parte de esta red. Los principales principios generales en la que se fundamenta esta ley son, el principio de libre movilidad, de equidad y de desarrollo sustentable (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito Y Seguridad Vial, 2008).

**Art. 7.-** Establece que la libre movilidad para vehículos y personas están garantizada bajo ciertas normas, donde se cumple los principios de seguridad vial. La red vial es un servicio nacional de carácter público que tiene que ser abierto al libre tránsito, tanto como para peatones, como para vehículos (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito Y Seguridad Vial, 2008).

Este artículo es importante porque permite que la red vial en el modelo de microsimulación desarrollado, se tome en cuenta los parámetros que permita que tanto peatones como vehículos tengan el tiempo y espacio necesario para movilizarse.

Adicional, se tomó en cuenta el **Art. 214O literal e** que habla sobre el desarrollo sostenible de acuerdo a la cantidad de vehículos que circulan por cierto sector. Este artículo es importante para el presente proyecto, ya que se busca reducir la congestión vehicular en cierta intersección de un sector de la ciudad de Guayaquil. Como consecuencia directa de esta reducción de la congestión vehicular, se tiene la disminución de la contaminación ambiental.

### **2.7.3 Ley de Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre**

Esta ley tiene todo lo relacionado con la infraestructura en calles, carreteras y avenidas dentro del territorio ecuatoriano, desde la clasificación de las vías hasta pesos y dimensiones de vehículos que deben transitar en una vía.

La presente ley es de suma importancia para el presente proyecto, porque permite obtener información sobre las características de las vías que se abordan en el presente proyecto, y saber que tipo de movimientos están permitidos en aquel sector. Además, permite conocer que tipos de vehículos pueden circular de acuerdo con su peso y carga máxima.

El artículo 10 de la presente ley, indica que aspectos se deben de tomar en cuenta al momento de construir una vía y que parámetros deben tener cada uno de estos. Este artículo es importante para el presente proyecto porque al momento de simular la posible solución, se debe tener presente estos aspectos, para que al momento de llevarlo a la realidad se cumpla con todos los requisitos que exige esta ley. A continuación, se describe lo que dice el artículo 10 de la Ley de Sistema Nacional de Infraestructura Vial Transporte Terrestre.

**Art. 10.-** Al momento de construir una vía, se debe tomar en cuenta los Centros de Atención Logística al transporte, el cual debe cumplir con ciertos parámetros de dimensión y contar con los siguientes servicios básicos.

- a. Parqueaderos
- b. Unidades de vigilancia policial
- c. Asistencia médica
- d. Asistencia para mecánica ligera (Ley Sistema Infraestructura Vial Del Transporte Terrestre, 2018)

## 2.8 Fases del proyecto

En esta sección se explica cada una de las fases realizada a lo largo del proyecto, desde el planteamiento del problema, hasta el análisis de los resultados con la solución propuesta.

- **Delimitación de la zona de estudio:** En esta fase se delimitó el sector donde se realizó la microsimulación, que va desde el Puerto Santa Ana hasta la intersección de la calle Carlos Plaza Dañin y la Av. Pedro Menéndez.

- **Identificación de los puntos estratégicos:** En esta parte se estudió todos los movimientos que existe en la intersección de la calle Carlos Plaza Dañin y la Av. Pedro Menéndez, donde se identificó nueve puntos estratégicos para la recolección de datos. De esta forma se abarcó todos los movimientos permitidos para vehículos en toda la zona de estudio. Además, en esta fase se determina cual es la situación actual de tráfico mediante la observación en la zona de estudio.
- **Recolección de datos:** Para esta actividad debido al limitado recurso que se tenía, se los tomó en tres días diferentes, un día para cada franja como ya se lo explicó. La información se tomó de manera simultánea en los nueve puntos estratégicos en intervalos de quince minutos.
- **Organización de los Datos:** Toda la información recopilada fue organizada en tablas de Excel, para que facilite la interpretación y la lectura de este a los lectores. La ventaja de esto es que permitió el ingreso de los datos del flujo vehicular al software PTV Vissim, de una manera más fácil, ya que sólo se elige la opción de subir el archivo para que el software pueda hacer la lectura y uso de estos.
- **Diseño del modelo de microsimulación en PTV Vissim:** Esta parte se diseñó todo el modelo de microsimulación del sector de acuerdo con los parámetros de interés. Se tomó en cuenta las características de la vía, tipos de vehículos, zonas de conflictos, tiempos de semaforización, movimientos permitidos para cada tipo de vehículo. Luego, se ingresó la información recolectada del flujo vehicular para su posterior análisis.
- **Calibración de los datos:** Una vez diseñado el modelo, se procedió a calibrar los datos. Teniendo los datos reales y los simulados, se sacó un factor estadístico, que permitió saber si los datos obtenidos en campo son viables para la realización de este proyecto.

- **Análisis de los resultados de la microsimulación de la situación actual:** Una vez obtenidos y analizados los resultados, se procederá a identificar que vías son las más congestionadas y cuál es el nivel de servicio que estas vías brindan. De acuerdo con esta información procesada, se procederá a realizar varias alternativas de solución como propuesta.
- **Diseño del modelo de microsimulación de la solución propuesta:** En esta parte se diseñará el nuevo modelo de microsimulación, que es básicamente una modificación del modelo que se tiene en la situación actual.
- **Análisis de los resultados de la microsimulación de la situación propuesta:** Una vez obtenido el nuevo diseño, se procederá a evaluar nuevamente el nivel de servicio de las vías, donde la congestión vehicular presentaba mayores conflictos. Se estimará que el índice de flujo sea menor y de esta forma tomar una decisión, sobre si esta solución propuesta es viable y factible para la reducción del tráfico vehicular sobre el sector.

## 2.9 Cronograma de trabajo

En la

**Tabla 2.20 Cronograma de trabajo** se presentan las actividades que se han a lo largo del proyecto, así como las semanas en las que se han trabajado sobre los mismo. Una de las actividades que tomó más tiempo como se observa en la

**Tabla 2.20 Cronograma de trabajo**, es el diseño del modelo de microsimulación en software de PTV Vissim. A la fecha escrita esta sección aún no se tiene el análisis de los resultados, por lo que se estima que el análisis de los resultados tome entre dos a tres semanas.

**Tabla 2.20 Cronograma de trabajo**

**Fuente: Los Autores**

Cronograma de Trabajo													
	Meses												
	Junio (semanas)				Julio (semanas)				Agosto (semanas)				
Actividades	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Identificación de puntos estratégicos para la recolección de datos	■												
Recopilación de datos en campo	■	■											
Procesamiento de la información		■	■										
Metodología		■	■	■	■								
Análisis de la situación actual				■	■	■							
Diseño del modelo en el software			■	■	■	■							
calibración del modelo						■	■						
Análisis de los resultados						■	■	■					
Modificación al modelo								■	■				
Análisis del nuevo modelo								■	■	■			
Conclusiones y recomendaciones											■	■	

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez explicada la metodología que se usó, en esta sección se muestran los resultados y análisis de la situación actual y la situación propuesta con dos diferentes escenarios. Se realizó una comparativa entre la situación actual y la situación propuesta, donde se evidenció el impacto del aumento flujo vehicular en la Av. Pedro Menéndez debido al aumento que se tendrá en densidad poblacional y comercial en el Puerto Santa Ana, por la construcción de varios rascacielos.

### 3.1 Parámetros de evaluación

Para la evaluación y análisis de resultados se utilizaron varios parámetros de evaluación, estos parámetros permitieron hacer un análisis comparativo entre los dos escenarios y la situación actual. A continuación, se mencionan y se definen los parámetros de evaluación utilizados:

**Flujo vehicular total:** Medida cuantitativa, que mide la cantidad de vehículos que atraviesan una sección de vía en un tiempo predeterminado. En este caso se los midió en vehículos por hora (veh./hora).

**Tiempo de viaje:** Medida cuantitativa, que mide el tiempo en el que un vehículo atraviesa una sección de vía, previamente establecida. En este caso se lo midió en segundos por sección.

**Distancia recorrida de tiempo de viaje:** Este parámetro permite medir la distancia que le tomó ejecutar la trayectoria del tiempo de viaje, a partir de donde se colocó los recolectores de datos. Su medición se la realizó en metros (m).

**Tamaño de cola:** Medida cuantitativa, que mide la longitud de la cantidad de vehículos en espera en una congestión vehicular, en una zona previamente establecida. Se consideró que un vehículo está en cola cuando su velocidad es menor a 5km/h. En este caso este parámetro se lo midió en metros (m).

**Longitud de tamaño de cola:** Medida cuantitativa, que mida la longitud que se forma en la congestión vehicular. En este caso se lo midió en metros (m).

**Ciclo Semafórico:** Es el tiempo total que tarda un semáforo en cambiar todos sus colores. En este caso, se realizó una propuesta de los ciclos semafóricos para los nuevos escenarios.

### **3.2 Análisis y resultados de la situación actual**

Como aporte académico, para el análisis de la situación actual se consideraron dos franjas, la primera que es de 7:00 a 9:00 y la segunda que es de 17:00 a 19:00, que son consideradas horas pico. Los dos principales parámetros de evaluación que se consideraron es el resultado que se obtuvo en los tiempos de viaje y el tamaño de cola de los vehículos.

Las zonas donde se realizó esta evaluación comprenden las tres zonas de salida que describieron en el literal **2.6.1 Número de simulaciones**, las cuales eran:

- **Zona de salida 1.-** Av. Pedro Menéndez sur norte, que son los datos de sumar los puntos estratégicos 3, 5 y 8.
- **Zona de salida 2.-** Av. Pedro Menéndez norte sur, que son los datos de sumar los puntos estratégicos 4, 6 y 2.
- **Zona de salida 3.-** Calle Carlos Plaza Dañin este oeste, que son los datos de sumar los puntos estratégicos 2 y 7.

Todas estas tres salidas son de alto flujo vehicular, por lo que analizarlas son de mucha importancia para posteriormente compararlas con la situación actual y los dos diferentes escenarios, donde el flujo vehicular tendrá un aumento. Para los dos nuevos escenarios se establecieron nuevos tiempos de ciclo semafórico tanto para la mañana como la tarde, con el aumento del flujo vehicular.

#### **3.2.1 Análisis y resultados del tiempo de viaje para la situación actual**

Como se observa en la

**Tabla 3.1 Tiempos de viaje para** para la situación actual se tiene que la zona de salida 2 para todos los horarios es mayor con respecto a las otras zonas de salida. Además, se observa que esta zona de salida 2, su mayor flujo se encuentra en la mañana con 7658 vehículos en el horario de 7h00 a 8h00 y con 7045 vehículos en el horario de 8h00 a 9h00. En la tarde y noche estos valores se observan que disminuyen en un 17% aproximadamente.

Por otro lado, tenemos los valores de la zona de salida 1, donde el mayor flujo vehicular se encuentra en el horario de 17h00 a 18h00 con un total 1949 vehículos. Como se nota, la diferencia del promedio de vehículos entre la zona de salida 1 y 2 es significativa, esto es debido a que en la zona de salida 1, sólo se tomó en consideración los vehículos que van por debajo y/o debajo del paso a desnivel. La zona de salida 3, se observa que también tiene un número elevado de flujo vehicular, donde en la franja 3 se presenta la mayor cantidad de vehículos, esto se debe en gran medida a que a esa hora hay bastantes personas que están de regreso a Durán, que por razones de trabajo o de estudio lo realizan en Guayaquil.

**Tabla 3.1 Tiempos de viaje para el caso actual**

Fuente: Los Autores

N° de Franja	Hora		Zonas de Salida	Promedio de vehículos (veh./hora)	Promedio de tiempo de viaje (segundos)	Distancia recorrida tiempo de viaje (m)
1	7:00:00	8:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	1899	62	298
	7:00:00	8:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7658	82	378
	7:00:00	8:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	2963	67	318
	8:00:00	9:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	1685	75	350
	8:00:00	9:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7045	79	366
	8:00:00	9:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	2836	71	334
3	17:00:00	18:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	1949	76	354
	17:00:00	18:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	5723	59	286
	17:00:00	18:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3029	72	338
	18:00:00	19:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	1957	83	382

18:00:00	19:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	5705	63	302
18:00:00	19:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3202	77	358

En el promedio de tiempo de viaje se obtuvo que el mayor tiempo corresponde a zona de salida 2, con un total de 83 segundos en el horario de 7h00 a 8h00 y con la diferencia de 1 segundo se encuentra en la segunda posición con el mayor promedio de tiempo de viaje la zona de salida 1, con un total de 82 segundos en el horario de 18h00 a 19h00. En tercera posición tenemos a la zona de salida 2, con un total de 79 segundos en el horario de 8h00 a 9h00. Esto tiene sentido debido a que, por la mañana se obtuvo la mayor cantidad de flujo en el sentido norte sur en la Av. Pedro Menéndez, y que son las personas que provienen de Durán para realizar sus diferentes actividades en la ciudad de Guayaquil.

Además, en la **Tabla 3.1 Tiempos de viaje para el caso actual** se observa en la última columna la distancia que recorren los vehículos en el tiempo de viaje, donde se obtuvo que de la zona de salida 1 de 18h00 a 19h00 registró la mayor distancia, con un total de 382 m en 83 s.

### 3.2.2 Análisis y resultados del tamaño de cola vehicular para la situación actual

Del mismo modo, para el análisis del tamaño de cola vehicular se tomó en consideración las tres zonas de salida definidas anteriormente. Como se observa en la **Tabla 3.2 Tamaño de cola vehicular para cada zona de salida**, la franja 1 que corresponde al horario de 7h00 a 8h00 y de 8h00 a 9h00, son las que presentan mayor promedio de tamaño de cola vehicular, con un total de 25 vehículos y 23 vehículos correspondientemente. Por otro lado, la zona de salida 2 presenta un tamaño de cola inferior con respecto a la zona de salida 1, con tan solo una diferencia de tres vehículos, donde se obtuvo un total de promedio de cola de 22 vehículos en el sentido sur norte de la Av. Pedro Menéndez, en el horario de 18h00 a 19h00. Por último, se tiene a la zona de salida 3 donde se obtuvo que su mayor promedio de tamaño de cola es de 21 vehículos, en el horario de 17h00 a 18h00.

Si se da cuenta, estos resultados tienen concordancia con la sección anterior que habla de los promedios de tiempo de viaje, donde se obtuvo que la zona de salida 2 tiene un mayor tiempo de viaje y esta sección donde la misma zona se salida representa la zona con mayor tamaño de cola vehicular.

**Tabla 3.2 Tamaño de cola vehicular para cada zona de salida**

**Fuente: Los Autores**

N° de Franja	Hora		Zonas de Salida	Promedio de tamaño de cola (Número de vehículos)	Promedio longitud total de cola (m)
1	7:00:00	8:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	17	85
	7:00:00	8:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	25	125
	7:00:00	8:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	14	70
	8:00:00	9:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	19	95
	8:00:00	9:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	23	115
	8:00:00	9:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	15	75
3	17:00:00	18:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	21	105
	17:00:00	18:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	16	80
	17:00:00	18:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	21	105
	18:00:00	19:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	22	110
	18:00:00	19:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	14	70
	18:00:00	19:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	19	95

### 3.2.3 Ciclo semafórico actual

Como se mencionó en el literal ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., para el caso actual el tiempo del ciclo semafórico es diferente por la mañana y por la tarde. Por la mañana el tiempo del ciclo semafórico es de 90 segundos

y por la tarde es de 120 segundos. Este tiempo de ciclo semafórico tuvo una nueva propuesta para los diferentes escenarios, como se lo verá más adelante.

### **3.3 Análisis y resultados de la situación propuesta: dos escenarios**

En la situación propuesta se evaluaron dos escenarios:

- **Escenario 1:** El primero fue con la estimación del aumento del flujo vehicular en el sector de estudio, que considera la construcción del nuevo rascacielos “Maxximus”. Para este escenario se realizó un análisis y propuesta de un nuevo tiempo del ciclo semafórico, considerando el flujo vehicular ya incrementado.
- **Escenario 2:** El segundo escenario fue con la estimación del aumento del flujo vehicular en el sector de estudio, pero ahora con dos rascacielos, esto es debido a que se tiene proyectado construir cinco rascacielos en el sector del Puerto Santa Ana. Para este escenario se sumará el doble del flujo vehicular del escenario uno, ya que se consideró que los nuevos rascacielos que se tienen proyectado construir, tendrán las mismas características del rascacielos del escenario uno. Así mismo, para el segundo escenario se realizó un análisis y propuesta de un nuevo tiempo del ciclo semafórico, considerando el flujo vehicular ya incrementado.

#### **3.3.1 Estimación de nuevo flujo vehicular**

Para el análisis de situación propuesta con dos escenarios diferentes que ya se mencionó, se estimó el aumento del flujo vehicular que tendrá la Av. Pedro Menéndez, debido a la construcción de un rascacielos en el sector del Puerto Santa Ana. La construcción de este nuevo edificio o rascacielos se lo comparó con el edificio “The Point” que actualmente se encuentra en este sector ya mencionado.

El edificio The Point cuenta con 36 pisos, 419 oficinas y un total de 8 centros comerciales, y que es actualmente el edificio más grande del

país. Este edificio tiene una capacidad total de 2300 personas y que promedio al día se tiene un flujo de 2100 personas (Pronobis, 2020).

Por otro lado, tenemos el rascacielos que se llamará “Maxximus” y que contará con un total de 46 pisos, 458 oficinas y 11 centros comerciales. Contará con un total de 1000 estacionamiento (Ekos, 2022).

Dada estas cifras se tiene que, se distribuyó las 2100 personas para los 36 edificios que tiene el edificio “The Point”, donde se obtuvo un total de 58 personas por piso. Esta cantidad se la multiplica por el total de pisos que tendrá el rascacielos, tal y como se observa en la **ecuación (3.1)**, donde se obtuvo que este rascacielos tendrá un flujo aproximado de 2668 personas.

$$\text{Flujo} = 58 \frac{\text{personas}}{\text{piso}} * 46 \text{pisos} = 2668 \text{ personas} \quad (3.1)$$

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se tiene que en Guayaquil por cada auto viajan en promedio 3 personas (INEC, 2020). Entonces, se dividió las 2668 personas que se estimaron que tendrá el nuevo rascacielos para 3 personas por vehículos, dando un resultado de alrededor de 890 vehículos que se tendrá por la construcción de este nuevo edificio, tal y como se observa en la **ecuación (3.2)**. Tomando en cuenta la capacidad del estacionamiento que tendrá el rascacielos, esta estimación se la redondeó a **1000 vehículos**. Esta estimación que es para el escenario uno, también se lo tomó en cuenta para el escenario dos, tomando en cuenta que el segundo rascacielos tendrá las mismas característica que el rascacielos del escenario uno.

$$\text{Flujo vehicular} = 2668 \text{ personas} \div \frac{1 \text{vehículo}}{3 \text{personas}} = 890 \text{ vehículos} \quad (3.2)$$

En el literal **2.2.1 Datos en la entrada y salida del Puerto Santa Ana**, se tienen los datos de la cantidad de vehículos que entran y salen del Puerto Santa Ana por cada 1000 vehículos. Se obtuvo que 1000 vehículos ingresan en un tiempo de 2h9min que es igual a 129 minutos, dividiendo estos valores se tiene que ingresan 8 vehículos por minuto, lo que equivale 480 vehículos por hora, tal y como se observa en la **ecuación (3.3)**.

$$1000 \text{ veh.} \div 129 \text{ min} = 8 \frac{\text{veh}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 480 \text{ veh/hora} \quad (3.3)$$

Del mismo modo se hace con los vehículos que salen del Puerto Santa Ana. Se obtuvo que 1000 vehículos salen en un tiempo de 3h12min que es igual a 192 minutos. Haciendo la conversión se tiene que salen 300 vehículos por hora del Puerto Santa Ana, tal y como se observa en la **ecuación (3.4)**.

$$1000 \text{ veh.} \div 192 \text{ min} = 5 \frac{\text{veh}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 300 \text{ veh/hora} \quad (3.4)$$

### 3.3.1.1 *Estimación del nuevo flujo vehicular escenario 1*

Para el escenario uno, con los datos encontrados del flujo vehicular por hora en la **ecuación (3.4)** y **(3.5)** de ingreso y salida del Puerto Santa Ana respectivamente, se sumó a los valores que actualmente ingresan y salen del Puerto Santa Ana, que se obtuvo en el literal **Tabla 2.11 Recolección de datos Puerto Santa Ana**. De este modo en la **Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana en el escenario 1**, se tiene la estimación del nuevo flujo vehicular que se dará por la construcción de un rascacielos.

**Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana en el escenario 1**

Fuente: Los autores

Estimación de flujo vehicular que entran y salen del Puerto Santa Ana			
Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	920	525
8:00:00	9:00:00	1010	508
17:00:00	18:00:00	490	950
18:00:00	19:00:00	501	1082

Esta estimación del nuevo flujo se la añadió a la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte, debido que para salir del Puerto Santa Ana e ir para el norte, centro o sur se necesita por obligación tomar esta avenida. Como ya se mencionó, en este estudio no se consideró los vehículos que toman el paso a desnivel en sentido sur norte, si no los que van por alado y/o abajo del paso a desnivel. En este caso el porcentaje que van por debajo del paso a desnivel es del 38%, por lo que a la **Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana** se le saca este porcentaje, tal y como se observa en la **Tabla 3.4 Estimación del flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez sur norte en el escenario 1.**

**Tabla 3.4 Estimación del flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez sur norte en el escenario 1**

Fuente: Los autores

Estimación de flujo vehicular en Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte			
Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	350	200
8:00:00	9:00:00	384	193
17:00:00	18:00:00	187	361

18:00:00	19:00:00	191	417
----------	----------	-----	-----

En el sentido norte sur también se aumentará este nuevo flujo en el punto estratégico 6, con el porcentaje de vehículos que deciden tomar la rampa hacia el Puerto Santa Ana, en este caso es el 24%, por lo que a la **Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana** se le saca este porcentaje, tal y como se observa en la **Tabla 3.5 Estimación del nuevo flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez norte sur en el escenario 1**.

**Tabla 3.5 Estimación del nuevo flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez norte sur en el escenario 1**

Fuente: Los autores

Estimación de flujo vehicular en Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte			
Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	221	126
8:00:00	9:00:00	243	123
17:00:00	18:00:00	118	228
18:00:00	19:00:00	121	260

### 3.3.1.2 Estimación del nuevo flujo vehicular para escenario dos

Para el escenario dos, como ya se mencionó se sumó el doble del flujo vehicular del escenario uno. De este modo en la **Tabla 3.6 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana en el escenario 2**, se tiene la estimación del nuevo flujo vehicular que se dará por la construcción de dos rascacielos.

**Tabla 3.6 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana en el escenario 2**

Fuente: Los autores

Estimación de flujo vehicular que entran y salen del Puerto Santa Ana
---

Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	1400	825
8:00:00	9:00:00	1490	808
17:00:00	18:00:00	790	1430
18:00:00	19:00:00	801	1562

Al igual que en el escenario uno, en este escenario 2 se obtuvo el porcentaje de flujo vehicular que se están considerando para la simulación. En este caso el porcentaje que van por debajo del paso a desnivel es del 38%, por lo que a la **Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana** se le saca este porcentaje, tal y como se observa en la **Tabla 3.7 Estimación del flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez sur norte en el escenario 2.**

**Tabla 3.7 Estimación del flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez sur norte en el escenario 2**

Fuente: Los autores

Estimación de flujo vehicular en Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte			
Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	532	314
8:00:00	9:00:00	567	308
17:00:00	18:00:00	301	544
18:00:00	19:00:00	305	594

En el sentido norte sur también se aumentará en un 24%, por lo que a la **Tabla 3.3 Estimación del nuevo flujo vehicular que entra y sale del Puerto Santa Ana** se le saca este porcentaje, tal y como se observa en la **Tabla 3.8 Estimación del nuevo flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez norte sur en el escenario 2.**

**Tabla 3.8 Estimación del nuevo flujo vehicular que se añadirá a la Av. Pedro Menéndez norte sur en el escenario 2**

Fuente: Los autores

Estimación de flujo vehicular en Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte			
Hora		Vehículos que entran	Vehículos que salen
7:00:00	8:00:00	221	126
8:00:00	9:00:00	243	123
17:00:00	18:00:00	118	228
18:00:00	19:00:00	121	260

Ahora, para la explicación de esta situación propuesta de los dos diferentes escenarios, se tomó los mismos parámetros que la situación actual, con lo cual se pudo hacer posteriormente la comparación. Antes de eso, se hizo propuso una modificación en los tiempos semafóricos para los dos escenarios.

### 3.3.2 Escenario 1: incorporación de un rascacielos

Antes de realizar la comparación entre el escenario uno y la situación actual, se realizó un análisis del ciclo semafórico donde se propuso un nuevo tiempo del ciclo semafórico, que ayudó a mitigar el efecto del incremento del flujo vehicular. En esta sección se hizo la comparación del flujo vehicular entre la situación actual y el escenario uno, que es el con el aumento del flujo vehicular ya explicado y que tiene una nueva sincronización de semáforos. Para la comparación tomó en cuenta los dos principales parámetros con los que se han venido trabajando, que es el promedio de tiempo de viaje y el promedio de tamaño de cola. Para encontrar estos parámetros en este escenario, se realizó la misma cantidad de simulaciones que la simulación base o actual, tal y como se lo explicó en el literal **2.6.1 Número de simulaciones.**

#### 3.3.2.1 *Método de Webster: Propuesta de un nuevo tiempo del ciclo semafórico para escenario 1*

Para la propuesta de sincronización de semáforos, se usó el Método de Webster, que es un método que ayuda a obtener el tiempo de ciclo semafórico adecuado para una intersección. Se hizo uso de la

**ecuación (3.5)** para obtener este nuevo tiempo del ciclo semafórico, tanto para el horario de la mañana como el de la tarde.

$$C_{opt} = \frac{1,5 * L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s}\right)_{ci}} \text{ (seg)} \quad (3.5)$$

Para hacer uso de la ecuación anterior se necesitó el tiempo perdido por ciclo, que se lo encontró con la **ecuación (3.6)**.

$$\text{Tiempo perdido por ciclo} = L = \sum (A_i + TR_i) \quad (3.6)$$

Recordemos que los semáforos cuentan con tres fases. En las tres fases los tiempos de Amarillo son de 3 segundos y 2 segundos para el tiempo de Todo Rojo. Por lo tanto, el tiempo perdido por ciclo son de 15 segundos, como se observa en la **ecuación (3.7)**.

$$L = 3 + 2 + 3 + 2 + 3 + 2 = 15 \text{ seg.} \quad (3.7)$$

El flujo de saturación se lo halló a través de VISSIM, de este modo se pudo hallar el máximo valor de relación entre el flujo actual y flujo de saturación  $\left(\frac{v}{s}\right)_{ci}$ , tal y como se observa en la **ecuación (3.8)**.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s}\right)_{ci} = 0,194 + 0,340 + 0,224 = 0,758 \quad (3.8)$$

Una vez obtenido todos los datos, se lo reemplazó en la **ecuación (3.5)**, donde se obtuvo un total de tiempo de ciclo de 113,63 segundos, que se lo redondeó al valor de 5 más próximo, por

lo que quedó en 115 segundos la nueva propuesta de la longitud de tiempo de ciclo, tal y como se observe en la **ecuación (3.9)**. Este tiempo es para el horario de la mañana de 7am a 9am.

$$C_{opt} = \frac{1,5(15) + 5}{1 - 0,776} = 113,63 \approx 115 \text{ segundos} \quad (3.9)$$

En la **Figura 3.1 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 115 segundos del escenario 1**, se observa como quedaron distribuidos los 115 segundos para los colores amarillo, verde y rojo para los diez semáforos, en el horario de la mañana. A diferencia del ciclo semafórico actual, este ciclo semafórico le da más tiempo de verde a los semáforos C y B, donde el semáforo C da paso a todos

Tiempo de ciclo semafórico propuesto de 115 segundos en el horario de la mañana del escenario 1				
A	48	3	58	6
B	48	3	28	36
C	5	3	71	36
D	5	48	3	59
E	59	15	3	38
F	3	71	3	38
G	51	23	3	38
H	64	11	2	38
I	48	3	28	36
J	3	74		38

los vehículos de la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte, y el semáforo C da paso a los vehículos que hacen giro a la izquierda de la Av. Pedro Menéndez en sentido sur norte.

**Figura 3.1 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 115 segundos del escenario 1**

Fuente: Los Autores

Del mismo modo se, se realizó la sincronización para el horario de la tarde de 5pm a 7pm. En la **ecuación (3.14)** se halló el valor de relación entre el flujo actual y flujo de saturación.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s}\right)_{ci} = 0,201 + 0,351 + 0,254 = 0,806 \quad (3.10)$$

Se obtuvo un total de tiempo de ciclo de 141,75 segundos, que se lo redondeó al valor de 5 más próximo, por lo que quedó en 140 segundos la nueva propuesta de la longitud de tiempo de ciclo, tal y como se observa en la **ecuación (3.15)**. Este tiempo es para el horario de la tarde de 5pm a 7pm.

$$C_{opt} = \frac{1,5 (15) + 5}{1 - 0,806} = 141,75 \approx 140 \text{ segundos} \quad (3.11)$$

En la **Figura 3.2 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de**

Tiempo de ciclo semafórico propuesto de 140 segundos en el horario de la tarde del escenario 1						
A	72		3	65		
B	72		3	30	35	
C	3	3	99			35
D	3	70		3	64	
E	84			16	3	37
F	3	97			3	37
G	75			25	3	37
H	86			15	2	37
I	72		3	30		35
J	3	100			37	

**140 segundos del escenario 1**, se observa como quedaron distribuidos los 140 segundos para los colores amarillo, verde y rojo para los diez semáforos, en el horario de la tarde. Al igual que en el horario de la mañana, este tiempo de ciclo semafórico le da más tiempo de verde a los vehículos que dirigen de sur a norte, en la Av. Pedro Menéndez.

**Figura 3.2 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 140 segundos del escenario 1**

Fuente: Los Autores

### 3.3.2.2 Análisis y comparación del tiempo de viaje entre la situación actual y el escenario uno

En esta sección se analizó el tiempo de viaje para el escenario uno y luego se lo comparó con la situación actual. Como se observa en la **Tabla 3.9 Tiempo de viaje para escenario uno**, para el escenario uno se obtuvo que la zona de salida 2 posee el mayor promedio de vehículos en todos los horarios, siendo el horario de 7h00 a 8h00 el horario con mayor promedio de vehículos. La zona de salida 1 obtuvo el mayor promedio de vehículos en el horario de 18h00 a 19h00, con un total de 3091 vehículos. Por último, la zona de salida 3 obtuvo el mayor promedio de tiempo de viaje también en el horario de 18h00 a 19h00, con un total de 3343 vehículos.

**Tabla 3.9 Tiempo de viaje para escenario uno**

Fuente: Los Autores

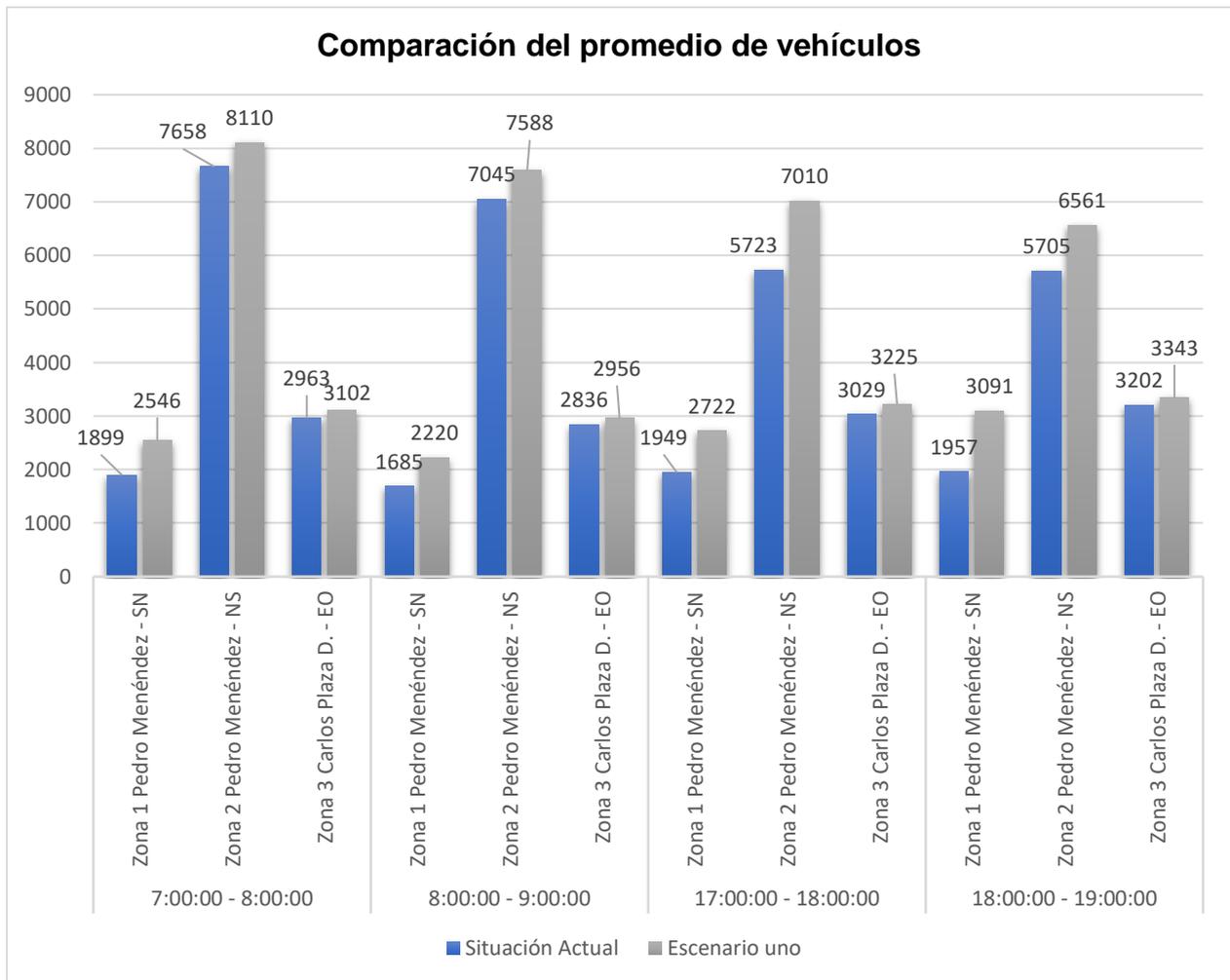
N° de Franja	Hora		Zonas de Salida	Promedio de vehículos (veh./hora)	Promedio de tiempo de viaje (segundos)	Distancia recorrida tiempo de viaje (m)
1	7:00:00	8:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	2546	105	298
	7:00:00	8:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	8110	96	378
	7:00:00	8:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3102	70	318
	8:00:00	9:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	2200	103	350
	8:00:00	9:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7588	98	366
	8:00:00	9:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	2956	76	334
3	17:00:00	18:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	2722	109	354
	17:00:00	18:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7010	76	286
	17:00:00	18:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	2998	77	338
	18:00:00	19:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	3091	106	382
	18:00:00	19:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	6561	78	302
	18:00:00	19:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3343	81	358

Por otra parte, se tiene que el promedio de tiempo de viaje para la zona 1 es mayor en todos los horarios, a pesar de que, la zona de salida 2

tiene mayor flujo vehicular. Esto se debe por diferentes razones, una de ellas es las características de las vías, de los conductores al conducir. A pesar de que se propuso un nuevo de tiempo de ciclo semafórico, el tiempo de viaje de igual manera se eleva por el aumento del flujo vehicular. Hay que recordar que los vehículos de la zona de salida 2 esperan menos es porque provienen del paso a desnivel sin ninguna interrupción vial. Además, la zona de salida 1 tiene menos recorrido, pero de igual forma las interrupciones viales hacen que esta zona de salida sea la más tardada.

La distancia recorrida para el tiempo de promedio de viaje es igual al caso actual, ya que recorren las mismas distancias, pero en un tiempo superior para este escenario 1 debido al incremento del flujo vehicular.

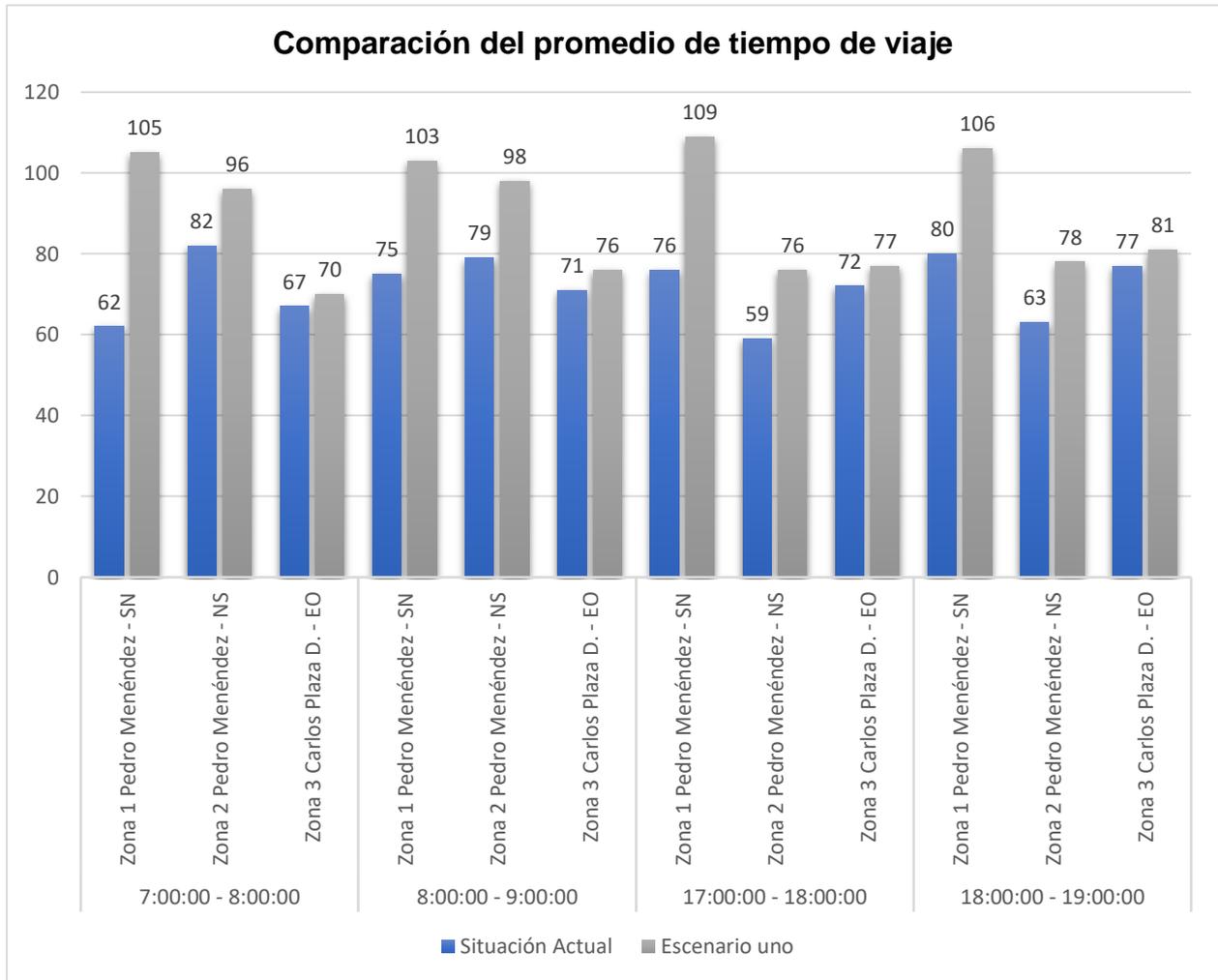
En la **Figura 3.3 Comparación entre la situación actual y el escenario uno del promedio de vehículos**, se observa que con el incremento del flujo vehicular en el escenario 1, se nota un pequeño incremento del flujo vehicular en todos los horarios. Un mayor incremento se lo encuentra en la zona de salida 2, en el horario de 7h00 a 8h00 que pasa de 7658 a 8110, habiendo una diferencia 452 vehículos.



**Figura 3.3 Comparación entre la situación actual y el escenario uno del promedio de vehículos**

Fuente: Los Autores

En la **Figura 3.4 Comparación entre la situación actual y el escenario uno del promedio de tiempo de viaje**, se obtuvo que la zona de salida 1 es la que sufre el mayor promedio de tiempo de viaje, a pesar de que la distancia son más corta comparada con las dos otras zonas de salida, este tiempo es mucho mayor. El máximo tiempo de viaje, como se mencionó se da en la zona de salida 1 con un total de 109 segundos, que es casi un minuto y medio. La zona de salida 3, no se ve tan afectada con este aumento vehicular. La zona de salida 2 es también una de las zonas de salida afectada, sus valores aumentan con respecto a la situación actual en poca cantidad, pero significativa.



**Figura 3.4 Comparación entre la situación actual y el escenario uno del promedio de tiempo de viaje**

Fuente: Los Autores

### **3.3.2.3 Análisis y comparación del tamaño de cola entre la situación actual y el escenario uno**

En la **Tabla 3.10 Tamaño de cola para escenario uno**, se observa que existió un incremento notable en el promedio de tamaño de cola para la zona de salida 1, en el horario de 17h00 a 18h00 con un total de 40 vehículos. Para el horario de 18h00 a 19h00, este promedio de tamaño vehicular es alto, con un total de 38 vehículos, que también corresponde a la zona de salida 1.

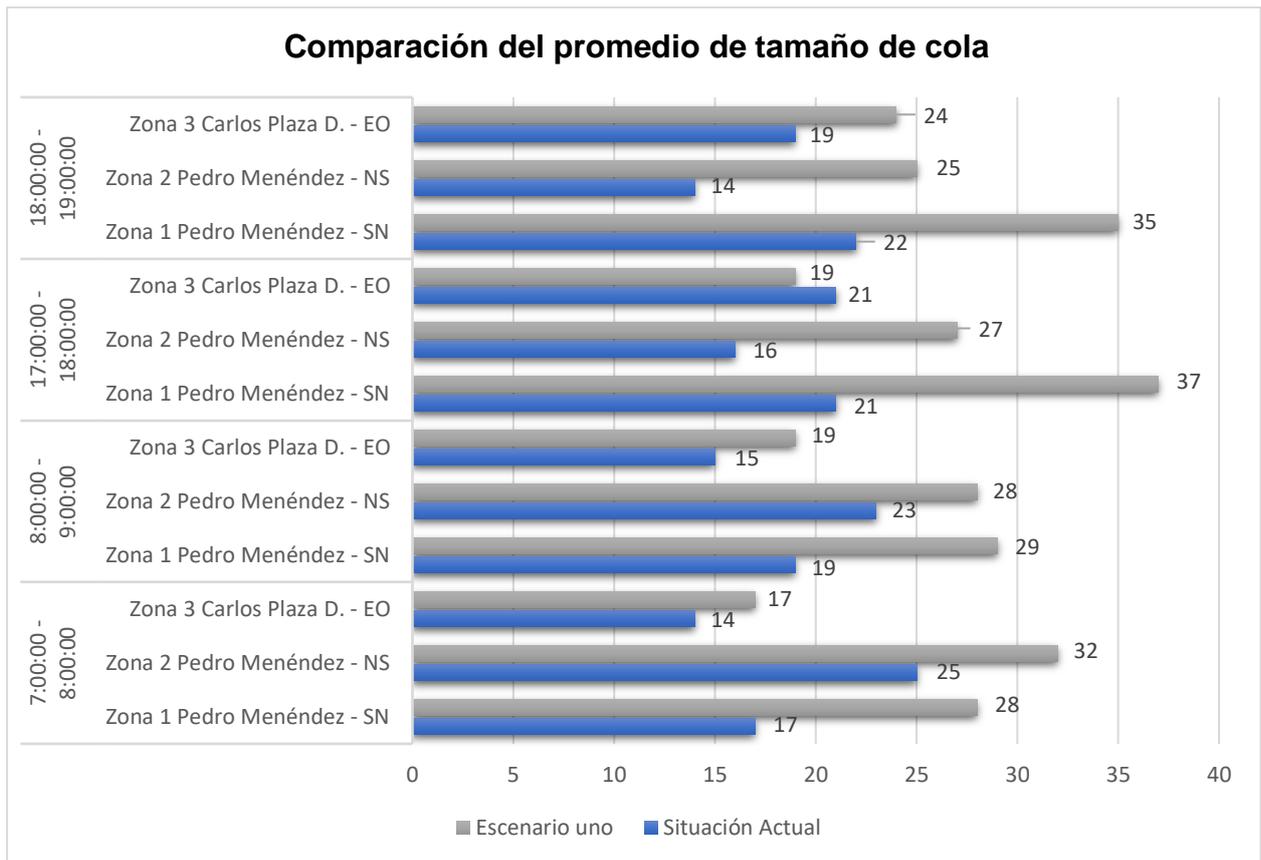
**Tabla 3.10 Tamaño de cola para escenario uno**

Fuente: Los Autores

N° de Franja	Hora		Zonas de Salida	Promedio de tamaño de cola (Número de vehículos)	Promedio longitud total de cola (m)
1	7:00:00	8:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	31	155
	7:00:00	8:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	35	175
	7:00:00	8:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	20	100
	8:00:00	9:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	32	160
	8:00:00	9:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	31	155
	8:00:00	9:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	22	110
3	17:00:00	18:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	40	200
	17:00:00	18:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	30	150
	17:00:00	18:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	22	110
	18:00:00	19:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	38	190
	18:00:00	19:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	28	140
	18:00:00	19:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	27	135

Se observa que el promedio de longitud de cola es proporcional al número de promedio de tamaño de cola, por lo que la zona de salida 1 también cuenta con este mayor número, con un total de 200 metros, en el horario de 17h00 a 18h00. La longitud promedio del tamaño de cola es menor en la zona de salida 3, con un total de 100 metros, en el horario de 7h00 a 8h00.

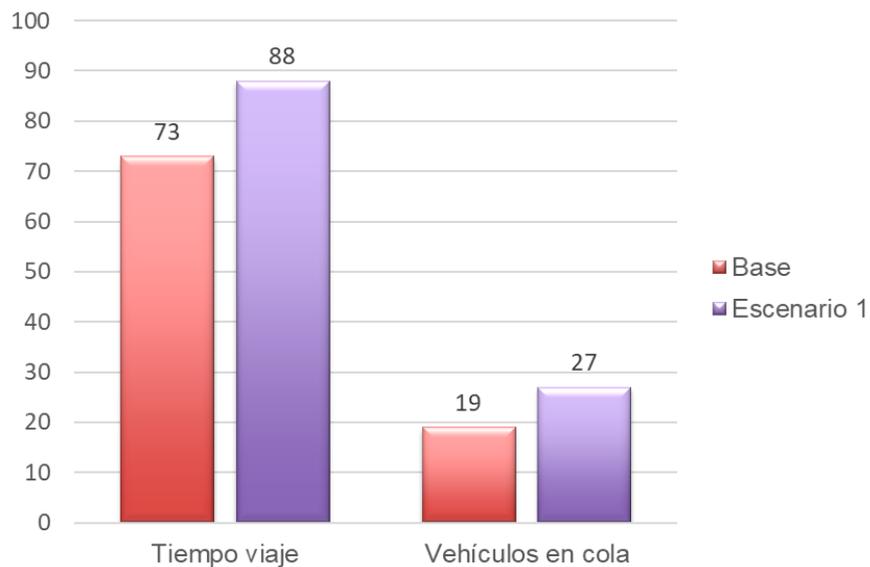
En la **Figura 3.5 Comparación del promedio de tamaño de cola para escenario uno**, se observa que estos valores se relacionan de manera directa con el promedio de tiempo de viaje. En este caso, la zona de salida 1 en el horario de 17h00 a 18h00 es la que sufre el mayor incremento de tamaño de cola con este aumento de flujo vehicular, el valor de sube de 21 vehículos de la situación actual a 40 vehículos para el escenario uno.



**Figura 3.5 Comparación del promedio de tamaño de cola para escenario uno**

Fuente: Los Autores

De manera general, se tiene que con un aumento del 14,31% de vehículos en el escenario 1 con respecto a la situación actual, debido a la construcción de un edificio, se observa en la **Figura 3.6 Comparación de parámetros en escenario 1**, que se tiene que el promedio de tiempo de viaje aumentó en un 20,55% en el escenario 1 con respecto a la situación base. El tamaño de cola aumentó en un 42,11% en el escenario 1 con respecto a la situación base, por lo que en este escenario uno se observaron colas de vehículos más grandes lo que aumenta los tiempos de viaje, aunque no se colapsa la capacidad de las vías.



**Figura 3.6 Comparación de parámetros en escenario 1**

Fuente: Los Autores

### 3.3.3 Escenario 2: incorporación de dos rascacielos

Para este escenario se consideró la construcción de dos rascacielos en el sector del Puerto Santa Ana. Esto se lo realizó debido a que tienen proyectado en un futuro construir cinco rascacielos en este sector. De este modo, en este escenario se pudo visualizar que pasa con el incremento del flujo vehicular que tendrá este sector al construir dos rascacielos.

Del mismo modo que el escenario uno, se realizó un análisis del ciclo semafórico donde se propuso un nuevo tiempo del ciclo semafórico, que ayudó a mitigar el efecto del incremento del flujo vehicular. Posterior a eso se hizo la comparación del flujo vehicular entre la situación actual y el escenario dos. Para la comparación tomó en cuenta los dos principales parámetros con los que se han venido trabajando, que es el promedio de tiempo de viaje y el promedio de tamaño de cola. Para encontrar estos parámetros en este escenario, se realizó la misma cantidad de simulaciones que la simulación base o actual.

### 3.3.3.1 Método de Webster: Propuesta de un nuevo tiempo del ciclo semafórico para escenario 2

Del mismo modo que se realizó la propuesta del ciclo semafórico para el escenario uno, se lo realizó para el escenario dos. Primero se halló la longitud de ciclo para el horario de la mañana y posterior a eso para el horario de la tarde.

El tiempo perdido por ciclo, quedó igual de 15 segundos. El valor de relación entre el flujo actual y flujo de saturación se lo halló en la **ecuación (3.12)**.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{S}\right)_{ci} = 0,215 + 0,328 + 0,246 = 0,789 \quad (3.12)$$

Una vez obtenido todos los datos, se lo reemplazó en la **ecuación (3.5)**, donde se obtuvo un total de tiempo de ciclo de 130,33 segundos, que se lo redondeó al valor de 5 más próximo, por lo que quedó en 130 segundos la nueva propuesta de la longitud de tiempo de ciclo, tal y como se observa en la **ecuación (3.13)**. Este tiempo es para el horario de la mañana de 7am a 9am.

$$C_{opt} = \frac{1,5(15) + 5}{1 - 0,789} = 130,33 \approx 130 \text{ segundos} \quad (3.13)$$

En la **Figura 3.7 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 130 segundos del escenario 2**, se observa como quedaron distribuidos los 130 segundos para los colores amarillo, verde y rojo para los diez semáforos, en el horario de la mañana. La propuesta del tiempo del ciclo semafórico para este escenario pasó de 90 segundos de la situación actual, a 130 segundos para el escenario 2 en el horario de la mañana, en la que se obtuvo un incremento de 30 segundos en el tiempo del ciclo semafórico. En esta nueva propuesta, se obtuvo que los tiempos de verde para el semáforo C, que va en sentido sur norte

en la Av. Pedro Menéndez aumente, por la gran cantidad de flujo vehicular aumentado en este escenario. Los tiempos de verde para los semáforos I y J también aumentan, esto se debe a que los semáforos B y C tienen más tiempo de verde, y no se interponen con los movimientos que se realizan en los semáforos I y J.

**Figura 3.7 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 130 segundos del escenario 2**

Fuente: Los Autores

Del mismo modo se, se realizó la sincronización para el horario de la tarde de 5pm a 7pm. En la **ecuación (3.14)** se halló el valor de relación entre el flujo actual y flujo de saturación.

Tiempo de ciclo semafórico propuesto de 130 segundos en el horario de la mañana del escenario 2				
A	50	3	67	10
B	50	3	37	40
C	5	3	82	40
D	5	50	3	72
E	61	20	3	46
F	3	78	3	46
G	54	27	3	46
H	66	16		46
I	50	3	22	55
J	3	70		57

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{v}{s}\right)_{ci} = 0,236 + 0,345 + 0,261 = 0,842 \quad (3.14)$$

Se obtuvo un total de tiempo de ciclo de 174,05 segundos, que se lo redondeó al valor de 5 más próximo, por lo que quedó en 175 segundos la nueva propuesta de la longitud de tiempo de ciclo, tal y como se observa en la **ecuación (3.15)**. Este tiempo es para el horario de la tarde de 5pm a 7pm.

$$C_{opt} = \frac{1,5 (15) + 5}{1 - 0,842} = 174,05 \approx 175 \text{ segundos} \quad (3.15)$$

En la **Figura 3.8 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 175 segundos del escenario 2**, se observa como quedaron distribuidos los 175 segundos para los colores amarillo, verde y rojo para los diez semáforos, en el horario de la tarde. Al igual que en los escenarios pasados, el tiempo de verde para el semáforo que da paso a los vehículos en sentido sur norte en la Av. Pedro Menéndez incrementa, afectando al tiempo de verde para el semáforo ubicado en la calle Carlos plaza Dañin, donde el tiempo en verde se disminuyó e incrementó el tiempo de rojo.

### 3.3.3.2 Análisis y comparación del tiempo de viaje entre la situación actual y el escenario dos

En esta sección se analizó el tiempo de viaje para el escenario

Tiempo de ciclo semafórico propuesto de 175 segundos en el horario de la tarde del escenario 2			
A	79	3	93
B	79	3	60
C	3	3	109
D	<b>Figura 3.8 Propuesta de tiempo de ciclo semafórico de 175 segundos del escenario 2</b>		
E	Fuente: Los Autores		
F			
G	82	33	3
H	93	23	3
I	79	3	60
J	3	110	62

dos y luego se lo comparó con la situación actual. Como se observa en la **Tabla 3.11 Tiempo de viaje para escenario dos**, para el escenario dos también se obtuvo que la zona de salida 2 posee el mayor promedio de vehículos en todos los horarios, siendo el horario de 7h00 a 8h00 el horario con mayor promedio de vehículos, con un total de 9245

vehículos. En este escenario, la zona de salida 1 es mayor que la zona de salida 3 en el horario de la tarde, caso contrario pasaba en el escenario 1.

El promedio de tiempo de viaje para la zona 1 es mayor en todos los horarios, a pesar de que, la zona de salida 2 tiene mayor flujo vehicular. También se observa en la **Tabla 3.11 Tiempo de viaje para escenario dos**, que el promedio de tiempo de viaje de la zona de salida 2 es mayor a la zona de salida 3 en todos los horarios. La distancia que recorren los vehículos en este escenario 2 es igual al del escenario 1 y caso actual, esto es porque se consideró el mismo trayecto del caso actual, pero lo que aumenta es el tiempo que deben cruzar esta distancia, por el aumento del flujo vehicular.

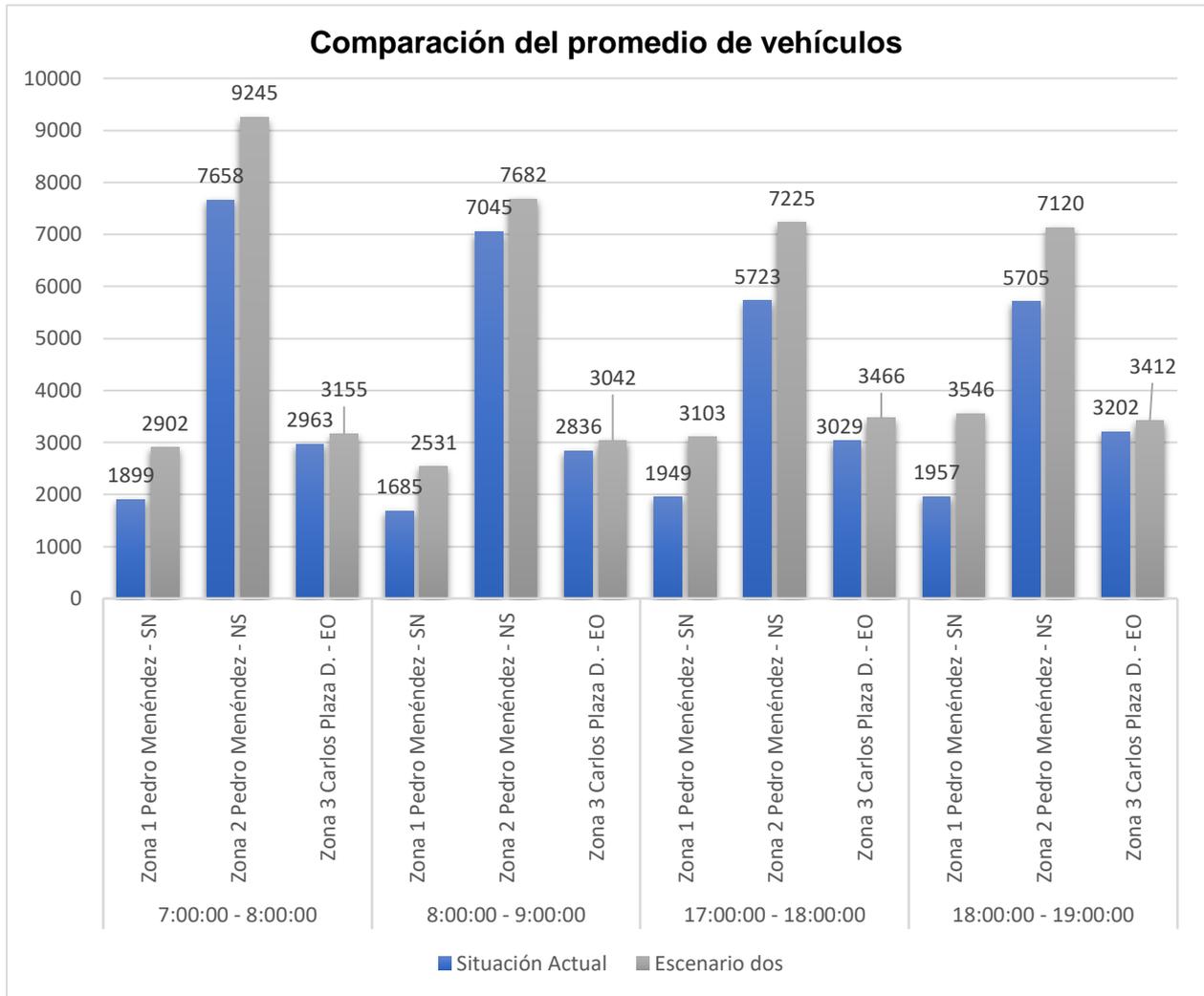
**Tabla 3.11 Tiempo de viaje para escenario dos**

Fuente: Los Autores

N° de Franja	Hora		Zonas de Salida	Promedio de vehículos (veh./hora)	Promedio de tiempo de viaje (segundos)	Distancia recorrida tiempo de viaje (m)
1	7:00:00	8:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	2902	409	298
	7:00:00	8:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	9245	210	378
	7:00:00	8:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3155	146	318

	8:00:00	9:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	2531	412	350
	8:00:00	9:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7682	230	366
	8:00:00	9:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3042	162	334
<b>3</b>	17:00:00	18:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	3103	427	354
	17:00:00	18:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7225	213	286
	17:00:00	18:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3466	159	338
	18:00:00	19:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	3546	419	382
	18:00:00	19:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	7120	180	302
	18:00:00	19:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	3412	163	358

En la **Figura 3.9 Comparación entre la situación actual y el escenario dos del promedio de vehículos**, se observa que con el incremento del flujo vehicular en este escenario 2, el flujo vehicular en las zonas de salida 1 y 2 tienden a elevarse notablemente, aunque la zona de salida 1 es la que tiene mayor incremento que la zona de salida 2. Como ejemplo de esto tenemos que el mayor incremento se da en la zona de salida 1, en el horario de 18h00 a 19h00, con un aumento de 1589 vehículos. La zona de salida 3 es la que presenta menor aumento del flujo vehicular, esto se debe a que el nuevo flujo de vehículos que salen del Puerto Santa Ana no afecta de manera directa a la Calle Carlos Plaza Dañin, si no a la Av. Pedro Menéndez.

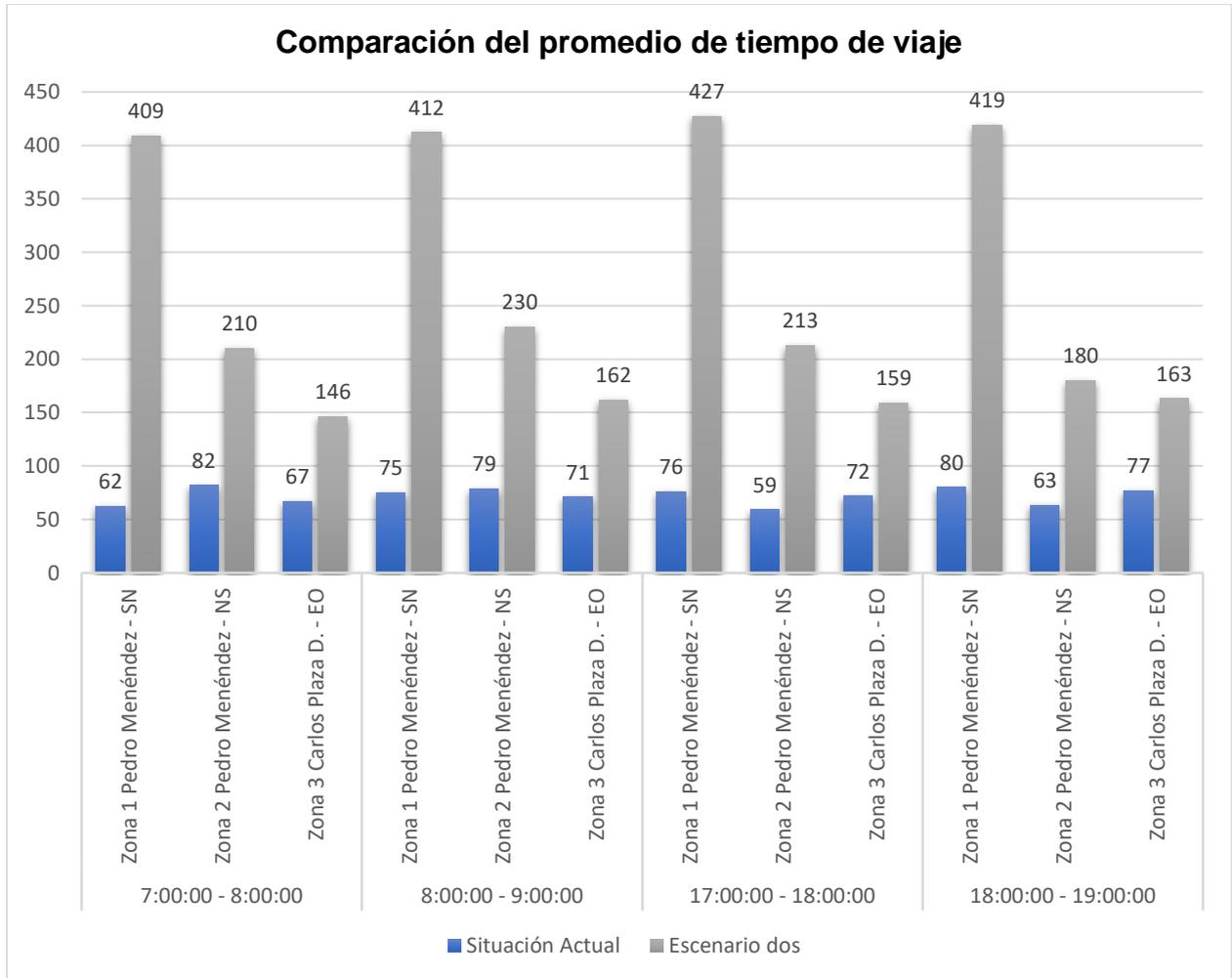


**Figura 3.9 Comparación entre la situación actual y el escenario dos del promedio de vehículos**

Fuente: Los Autores

En la **Figura 3.10 Comparación entre la situación actual y el escenario dos del promedio de tiempo de viaje**, se obtuvo que para los cuatro horarios de la zona de salida 1 se tiene el mayor incremento del promedio del tiempo de viaje. En el horario de 17h00 a 18h00 para la zona de salida 1, es el horario donde más se incrementó el promedio de tiempo de viaje, pasó de 76 segundos a 427 segundos, con una diferencia de 351 segundos. La zona de salida 2, tuvo un mayor incremento del promedio de tiempo de viaje en el horario de 17h00 a 18h00, con un aumento de 154 segundos. Para la zona de salida 3, el promedio de tiempo de viaje también se

aumenta por consecuencia del aumento del flujo vehicular en las calles aledañas, y el tiempo de verde que se le disminuyó a esta zona de salida.



**Figura 3.10 Comparación entre la situación actual y el escenario dos del promedio de tiempo de viaje**

Fuente: Los Autores

### 3.3.3.3 Análisis y comparación del tiempo de viaje entre la situación actual y el escenario dos

En la **Tabla 3.12 Tamaño de cola para el escenario dos**, se observa que el incremento del promedio de tamaño de cola es muy elevado para este escenario. El promedio de tamaño de cola para la zona de salida 1 es el que obtuvo el índice más alto, en el horario de 17h00 a 18h00 con un total de 71 vehículos, con una diferencia de 50 vehículos con respecto a la situación actual. Para la zona de salida 2 se obtuvo el mayor promedio de tamaño de cola en el horario de 7h00 a 8h00, con un total de 58 vehículos. Para la zona de salida 3 se obtuvo el mayor promedio de tamaño de cola en el horario de 18h00 a 19h00, con un total de 40 vehículos.

**Tabla 3.12 Tamaño de cola para el escenario dos**

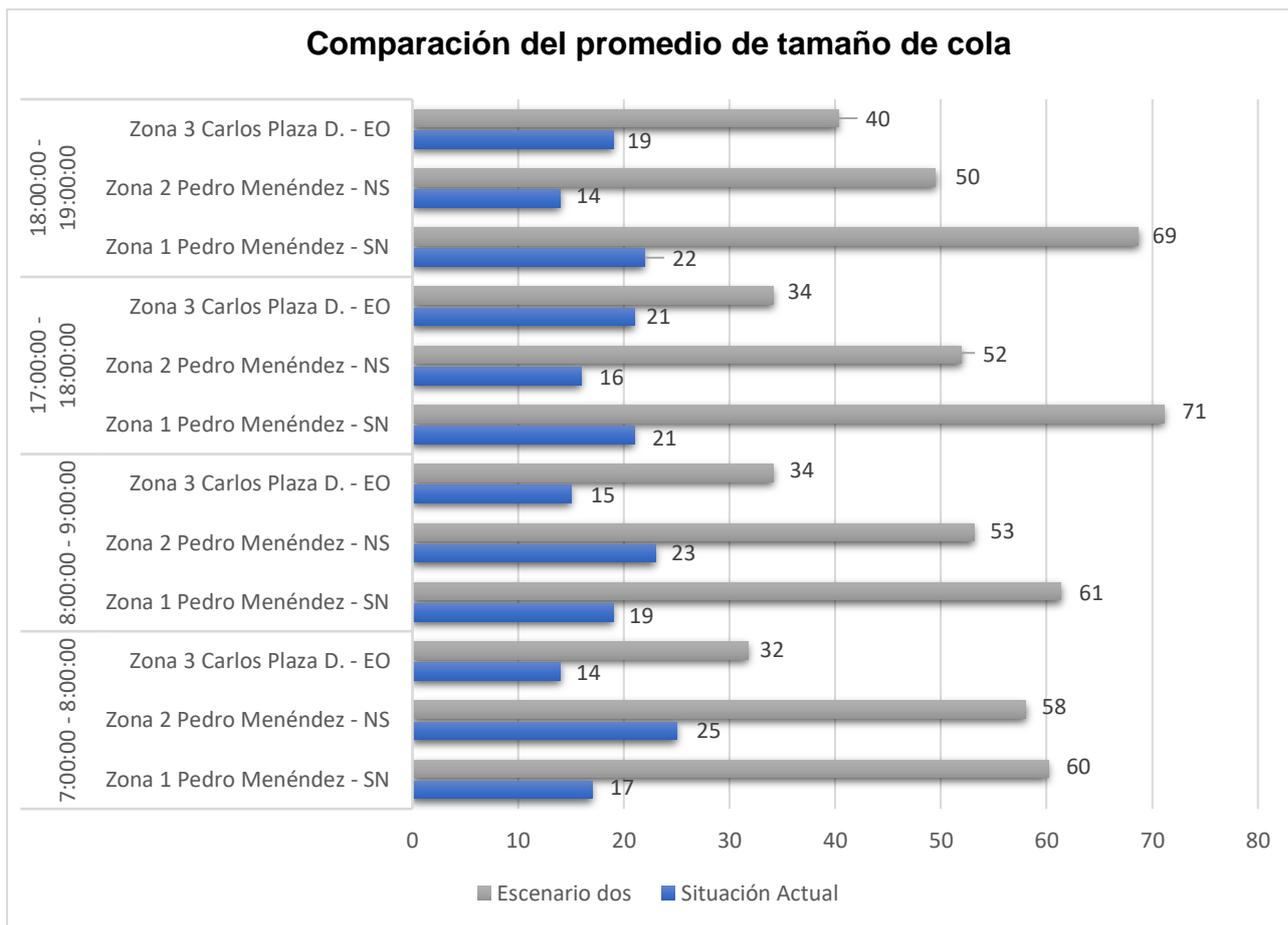
Fuente: Los Autores

N° de Franja	Hora		Zonas de Salida	Promedio de tamaño de cola (Número de vehículos)	Promedio longitud total de cola (m)
1	7:00:00	8:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	60	301
	7:00:00	8:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	58	290
	7:00:00	8:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	32	159
	8:00:00	9:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	61	307
	8:00:00	9:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	53	266
	8:00:00	9:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	34	171
3	17:00:00	18:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	71	356
	17:00:00	18:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	52	260
	17:00:00	18:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	34	171
	18:00:00	19:00:00	Zona 1 Pedro Menéndez - SN	69	344
	18:00:00	19:00:00	Zona 2 Pedro Menéndez - NS	50	248
	18:00:00	19:00:00	Zona 3 Carlos Plaza D. - EO	40	201

Se observa que el promedio de longitud de cola es proporcional al número de promedio de tamaño de cola, por lo que la zona de salida 1 también cuenta con este mayor número, con un total de 356 metros, en el horario de 17h00 a 18h00. La longitud promedio del tamaño de cola es menor en la zona de salida 3, con un total de 159 metros, en el horario de 7h00 a 8h00.

En este punto del escenario 2, se obtuvo por medio del software de microsimulación PTV VISSIM que la Av. Pedro Menéndez, la congestión vehicular es máxima a tal punto que la vía colapsa, por lo que construir varios rascacielos hará que la vía quede totalmente colapsada desde la salida del Puerto Santa Ana.

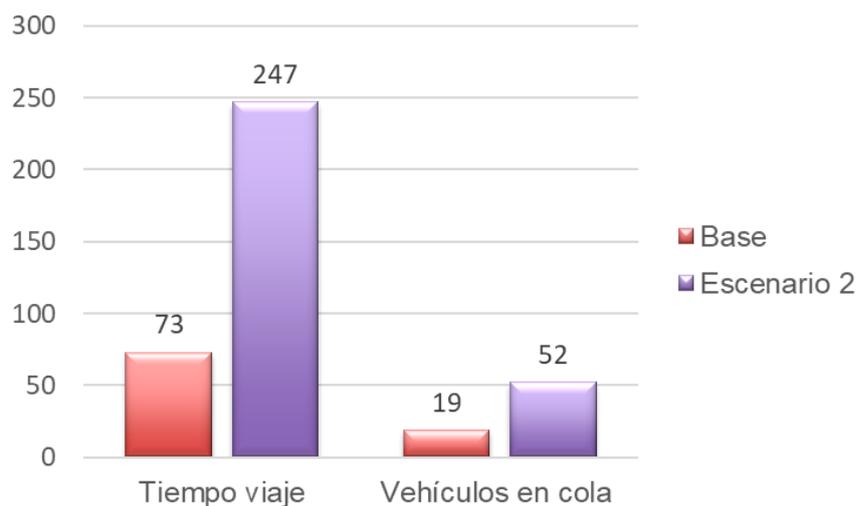
En la **Figura 3.11 Comparación del promedio de tamaño de cola para el escenario dos**, se observa que estos valores se relacionan de manera directa con el promedio de tiempo de viaje. En este caso, la zona de salida 1 en el horario de 17h00 a 18h00 y de 18h00 a 19h00 es la que sufre del mayor incremento de tamaño de cola con este aumento de flujo vehicular. Para el horario de 17h00 a 18h00 el tamaño de cola sube de 21 vehículos de la situación actual a 71 vehículos, teniendo un incremento de 50 vehículos. Para el horario de 18h00 a 19h00 el tamaño de cola sube de 22 vehículos de la situación actual a 69 vehículos, teniendo un incremento de 47 vehículos. En la zona de salida 2 se dio el mayor tamaño de cola en el horario de 7h00 a 8h00, con un total de 58 vehículos en cola y para la zona de salida 3 se dio el mayor tamaño de cola en el horario de 18h00 a 19h00, con un total de 40 vehículos en cola.



**Figura 3.11 Comparación del promedio de tamaño de cola para el escenario dos**

Fuente: Los Autores

De manera general, se tiene que con un aumento del 20,60% de vehículos en el escenario 2 con respecto a la situación actual, debido a la construcción de dos edificios, se observa en la **Figura 3.12 Comparación de parámetros en escenario 2**, que se tiene que el promedio de tiempo de viaje aumentó en un 238,36% en el escenario 2 con respecto a la situación base. El tamaño de cola aumentó en un 173,9% en el escenario 2 con respecto a la situación base, por lo que en este escenario dos se pudo notar como la capacidad de la vía es insuficiente creando tiempos de viaje y colas de vehículos muchos más grandes, colapsando la capacidad de las vías.



**Figura 3.12 Comparación de parámetros en escenario 2**

Fuente: Los Autores

### 3.4 Análisis de costos

Según lo descrito en este estudio, para obtener información de calidad en la recolección y uso de datos se necesitarían ciertos parámetros para asegurar la integridad del estudio. Estos parámetros luego serían cuantificados en los costos del estudio. En la **Tabla 3.13 Descripción de costos**, se puede observar a detalle cada uno de los costos considerados para la realización del presente proyecto, esto es con el fin de obtener datos más precisos que ayuden al desarrollo del presente proyecto de una forma mucho más eficaz. Algunos puntos clave que se consideraron al momento de obtener los costos son los siguientes:

- Para poder asegurar que los datos sean tomados de manera adecuada debería haber dos personas por punto que estén recolectando la información.
- El periodo de toma de datos debería de ser de mínimo un mes.
- Para cada uno del personal contratado se deben de tomar en cuenta todos los beneficios de Ley como es el pago del décimo tercero, décimo cuarto, comisiones, etc. Por esta razón que al salario de cada empleador se le sumará un 35%, como compensación de los beneficios ya mencionados.
- Debe haber mínimo 2 supervisores de las tareas de recolección de datos.

- Se debe tener un analista para que pueda hacer uso de la información para realizar el estudio.
- Se deben tener los dispositivos adecuados para la toma de los datos, como los anteriormente mencionados en el estudio.
- Se debe contar con los recursos tecnológicos adecuados para poder realizar el análisis contando el software y Hardware.

Tomando en cuenta estos parámetros tenemos un estudio de un mes donde se necesitarán contratar personal para la toma de datos, supervisión y análisis además de los recursos necesarios para realizar todas las tareas, estos costos se los puede observar en la **Tabla 3.13 Descripción de costos**.

**Tabla 3.13 Descripción de costos**

**Fuente: Los Autores**

<b>Personal de toma de datos</b>				
Número de puntos	Personas por puntos	Sueldo por persona	Impuestos por contratación (35%)	Gasto total
9	2	\$425	\$148,75	\$10327,5
<b>Personal supervisor</b>				
Número de puntos	Sueldo por persona		Impuestos por contratación (35%)	Gasto total
2	\$600		\$210	\$1620
<b>Persona de análisis</b>				
Número de puntos	Sueldo por persona		Impuestos por contratación (35%)	Gasto total
1	\$800		\$280	\$1080
<b>Materiales para el conteo</b>				
Número de personas	Material		Costo de material	Gasto total
18	Contadores		\$20	\$360
<b>Material para análisis</b>				
Número de puntos	Material		Costos de material	Gasto total
1	Software y Hardware		\$1000	\$1000
<b>Gasto Total</b>			<b>\$14387,5</b>	

### **3.5 Entregables**

Como entregable, se le presentará a la ATM el modelo de microsimulación, con el caso actual y los dos escenarios presentados con sus propuestas de sincronización semafórica. Además, se les entregará un video en 3D con todos los casos ya mencionados, que abarca la Av. Pedro Menéndez cerca del Puerto Santa Ana, hasta la intersección con la Calle Carlos Plaza Dañín. Adicional se le entregará una tabla con todos los resultados y la comparación de ambos casos de una forma muy resumida que ayude a su entendimiento.

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Respecto a la situación actual se puede observar que en las denominadas “horas pico”, comprendidas desde las 07:00AM a 09:00AM y 17:00PM a 19:00PM, se crean varios “cuellos de botellas” por diversos factores tales como el mal tipo de conducción, posibles accidentes e imprevistos aunado a la gran cantidad de flujo vehicular, entre otros.
- La recolección de datos resulta muy complicada debido a que se tienen varios puntos designados para la toma de información y varios tipos de movimientos, por lo cual, es necesario parametrizar ciertos tipos de datos.
- En las observaciones iniciales pudimos concluir que en las horas pico se crean “cuellos de botella” muy importantes en los siguientes semáforos:
  - Semáforo de la Av. Pedro Menéndez sentido Sur-Norte con intersección en la Av. Plaza Dañín.
  - Semáforo de la Av. Pedro Menéndez sentido Norte-Sur por la parada de la Metrovía.
  - Semáforo de la Av. Plaza Dañín sentido Oeste-Este.
- Según el estudio realizado podemos indicar que es necesario llevar a cabo un sondeo periódico de la información de tráfico con el fin de obtener resultados más fidedignos.
- Al momento de ajustar el flujo vehicular, adicionando mil vehículos, podemos percibir un incremento del tiempo de viaje en los “cuellos de botella” ya antes mencionados, siendo el más afectado el “cuello de botella” ubicado en el semáforo de la Av. Pedro Menéndez en sentido Sur-Norte con intersección en la Av. Plaza

Dañín, pasando de un aproximado del tiempo de viaje de 5 minutos a casi 15 minutos.

## 4.2 LIMITACIONES

- **Zona de estudio.** - En este caso se ha limitado la zona de estudio a intersección de la Av. Pedro Menéndez y Av. Plaza Dañín, pero para obtener un mayor detalle en la información del flujo vehicular se debería tomar en cuenta las zonas del Hospital de Solca, Instituto de Neurociencias y el Puerto Santa Ana.
- **Tipo de conducción.** - Debido al entorno social en el que vivimos en la actualidad es imposible parametrizar el tipo de conducción que tiene el ciudadano guayaquileño promedio.
- **Paso de peatones.** - Bajo la misma línea del anterior punto es muy difícil el cuantificar como podría la irresponsabilidad de los peatones al momento de cruzar la calle el generar accidentes o aumentar el tráfico, debido a que no se respetan los pasos cebra o semáforos en muchas ocasiones.
- **Factores externos**
  - **Accidente de tránsito.** - Por el momento no es posible el colocar lo que son los accidentes de tránsito en el modelo de simulación, cosas esporádicas que podrían representar situaciones adversas para el estudio.
  - **Daños de vehículos.** - Bajo la misma premisa se debería poder cuantificar cuantos son los números de accidentes ocasionados por los malos mantenimientos de vehículos que suceden en la zona.

### 4.3 RECOMENDACIONES

- Obtener el personal necesario para la toma de datos de una forma más certera y con un rango de tiempo adecuado.
- Se puede ampliar la zona de estudio tomando en cuenta los flujos del Puerto Santa Ana.
- Realizar el registro de todos los tipos de vehículos que pasan en el sector, sin omitir el más mínimo detalle.
- Esto puede desencadenar el estudio sobre el uso de semáforos en la zona.
- Se podría estudiar la posibilidad de expropiar un territorio aledaño como lo es los Galpones de la Prefectura del Guayas, para generar una nueva calle que conecte la salida del Puerto Santa Ana, con la calle Carlos Plaza Dañin en sentido este oeste, para de esta forma evaluar si este cambio mejoraría el flujo vehicular.

# Bibliografía

- Ahn, S., Cassidy, M. J., & Laval, J. (2004). Verification of a simplified car-following theory. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(5), 431–440. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00074-2](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00074-2)
- Alkaissi, Z. A. (n.d.). *Traffic simulation of continuous flow intersection with displaced left-turn: a case study*. <https://doi.org/10.1186/s44147-022-00091-7>
- Ekos. (2022, Abril 28). Retrieved from <https://www.ekosnegocios.com/articulo/en-guayaquil-se-construira-el-primer-rascacielos-de-ecuador>
- El Universo. (2021, Mayo 7). Retrieved from <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/intenso-congestionamiento-vehicular-se-registra-en-la-avenida-pedro-menendez-y-otras-vias-de-guayaquil-nota/>
- El Universo. (2022, Junio 02). Retrieved from <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/contraflujo-en-avenida-pedro-menendez-alivio-a-unos-conductores-pero-complico-a-otros-del-carril-contrario-nota/#:~:text=El%20contraflujo%20empez%C3%B3%20a%20la,limitar%20el%20espacio%20de%20circulaci%C3%B3n.>
- INEC. (2020, Diciembre 14). Retrieved from [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2020/2020\\_AN\\_ET\\_METODOLOG%C3%8DA.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/2020/2020_AN_ET_METODOLOG%C3%8DA.pdf)
- INRIX. (2021). Retrieved from <https://inrix.com/scorecard-city/?city=Guayaquil&index=89>
- Kim, S.-J., Kim, W., & Rillet, L. R. (2005, Enero 01). Calibration of Microsimulation Models Using Nonparametric Statistical Techniques. Sage, 111-119. doi:10.1177/0361198105193500113

Krivda, V., Petru, J., Macha, D., & Novak, J. (2021). *Use of Microsimulation Traffic Models as Means for Ensuring Public Transport Sustainability and Accessibility*. <https://doi.org/10.3390/su13052709>

*LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL*. (n.d.). Retrieved July 20, 2022, from [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Microsoft. (2022). Retrieved from <https://www.microsoft.com/es-ww/microsoft-365/excel>

Otković, I. I., Deluka-Tibljaš, A., & Šurdonja, S. (2020). Validation of the calibration methodology of the micro-simulation traffic model. *Transportation Research Procedia*, 45, 684–691. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2020.02.110>

*Pronobis*. (2020, Abril 29). Retrieved from <https://pronobis.com.ec/timeline/the-point-ciudad-del-rio-guayaquil/#:~:text=Es%20el%20edificio%20m%C3%A1s%20alto,y%20exclusivo%20de%20la%20ciudad>.

PTV Group. (2022). Retrieved from <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-vissim-nuevo/>

*REGLAMENTO LEY SISTEMA INFRAESTRUCTURA VIAL DEL TRANSPORTE TERRESTRE*. (n.d.). Retrieved July 20, 2022, from [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Torres E., M., Espinel, J. C., González, M., Jiménez, G., Morán, W., Caicedo A., C., . . . Salvador, L. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial Nevi-12*. Retrieved from Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes VOLUMEN, (3): [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_3.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf)