



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE  
TRANSPORTE (B.R.T.) RESPECTO AL SISTEMA DE BUSES APLICANDO EL  
PRINCIPIO DE WARDROP**

**Línea de investigación:**

**Seguridad vial e infraestructura de transporte**

Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Transportes

**Autor:**

Milian Díaz, Antero

**Asesor:**

Flores Vidal, Higinio Exequiel  
(ORCID: 0000-0002-6465-4738)

**Jurado:**

Mayhuasca Guerra, Jorge Víctor  
Ochoa Sotomayor, Nancy Alejandra  
Bazán Briceño, José Luis

**Lima - Perú**

**2023**



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO  
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE  
TRANSPORTE (B.R.T.) RESPECTO AL SISTEMA DE BUSES APLICANDO EL  
PRINCIPIO DE WARDROP

Línea de Investigación: Seguridad Vial e Infraestructura de Transporte

Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Transportes

Autor:

Milian Díaz, Antero

Asesor:

Flores Vidal, Higinio Exequiel

Código ORCID 0000-0002-6465-4738)

Jurado:

Mayhuasca Guerra Jorge Víctor

Ochoa Sotomayor, Nancy Alejandra

Bazán Briceño, José Luis

Lima – Perú

2023

**Dedicatoria**

El presente trabajo va dedicado con mucho cariño y amor a mis menores hijas, Luz Fiorella, Leslie Gabriela, a mi esposa Luz Marina, mis padres Andrés y Rosario, a mi hermano Segundo y su esposa Amelia, a mis hermanas, Dalila, Juana, Lucina y Ninfa que significaron la fuerza y el empuje necesario para terminar con mi carrera del post grado.

**Agradecimiento**

A nuestro creador, Dios, que hace posible nuestra existencia humana y nos rodea de sus bondades y bendiciones.

A los trabajadores y directivos de la Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao (ATU) administradora del BRT Metropolitano, a los choferes de las empresas ETUSA, diferentes empresas de transporte público, que colaboraron en todo momento en el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Descripción del problema .....	4
1.3 Formulación del Problema .....	6
<i>1.3.1. Problema General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.2. Problemas Específicos .....</i>	<i>6</i>
1.4 Antecedentes .....	7
1.5 Justificación de la investigación .....	26
1.6 Limitaciones de la investigación .....	30
1.7. Objetivos .....	33
<i>1.7.1. Objetivo general.....</i>	<i>33</i>
<i>1.7.2. Objetivos específicos .....</i>	<i>33</i>
1.8. Hipótesis	
II. MARCO TEÓRICO	35
2.1. Marco conceptual .....	35
III. MÉTODO	
3.1 Tipo de investigación.....	51
3.2. Población y muestra.....	52
3.3. Operacionalización de variables.....	57
3.4. Instrumentos .....	60
3.5 Procedimientos .....	67

3.6. Análisis de datos.....	76
3.7 Consideraciones éticas .....	77
IV. RESULTADOS	78
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
VI. CONCLUSIONES	108
VII. RECOMENDACIONES	110
VIII. REFERENCIAS	112
IX. ANEXOS	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Población de las Zonas de Transito 207,208 Área de Influencia.....	52
Tabla 2 Porcentaje Modos de transporte Lima y Callao.....	53
Tabla 3 Población de estudio .....	54
Tabla 4 Muestra estratificada proporcional por tipo de viaje .....	56
Tabla 5 Operacionalización de las Variables.....	58
Tabla 6 Instrumentos Utilizados para la Investigación.....	61
Tabla 7 Esquema Ruta 1 Metropolitano BRT, Ruta 2 Buses convencionales o Línea T .....	62
Tabla 8 Formato utilizado para conteo de tráfico vehicular .....	63
Tabla 9 Formato para calcular la Velocidad promedio (Ruta 1 BRT Metropolitano).....	64
Tabla 10 Formato para calcular la Velocidad promedio Ruta 2 Línea T (ETUSA) .....	65
Tabla 11 Formato para los tiempos por tramo desde el Origen hasta el Destino ruta 1 Metropolitano .....	65
Tabla 12 Formato para los tiempos por tramo desde el Origen hasta el Destino Línea T (ETUSA) .....	66
Tabla 13 Resumen de procesamiento de casos .....	66
Tabla 14 Estadísticas de fiabilidad .....	67
Tabla 15 Resumen de Velocidades y Distancias rutas BRT Metropolitano.....	70
Tabla 16 Resumen de velocidades y distancias rutas Línea T (Buses Convencionales).....	70
Tabla 17 Resumen de cálculos del Factor del Congestión Ruta 1 (FC <sub>1</sub> ) Metropolitano. ....	72
Tabla 18 Resumen de cálculos del Factor de Congestión. Ruta 2 Línea T .....	73
Tabla 19 Resumen de aforo, en hora pico, y usuarios del Metropolitano y de los buses de la Línea T. ....	79

Tabla 20 Resumen histórico de los Tiempos de Viaje de la Ruta1 del Metropolitano (Alimentador- Tramo 1 y Expreso 1- Tramo 2) .....	80
Tabla 21 Tiempos de viaje registrados de la Línea T ruta 2 (Buses Convencionales) .....	82
Tabla 22 Baremo. Niveles de satisfacción con datos agrupados por rangos .....	82
Tabla 23 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra.....	83
Tabla 24 Tabla de frecuencias según nivel de percepción de la calidad de servicios del Sistema Metropolitano y de los buses convencionales durante el trayecto de Chorrillos a Lima.....	84
Tabla 25 Simulación del Principio de Wardrop para el Metropolitano y la línea T, en diferentes escenarios mostrándose la variación de los tiempos conforme varían los usuarios hasta alcanzar el tiempo de equilibrio.....	86
Tabla 26 Estadísticos de prueba: Chi cuadrado .....	94
Tabla 27 Tabla Excel automatizada para calcular los tiempos de equilibrio y los usuarios elaborada por el autor .....	96



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Círculo de Calidad del Servicio	15
Figura 2 Encuesta de Satisfacción a Usuarios de Transporte Público Curitiba, 2015	20
Figura 3 Esquema de Rutas primer Principio de Wardrop	43
Figura 4 Esquema de rutas Metropolitano ruta1, Línea T ruta2, utilizado para la aplicación del Primer Principio de Wardrop	68
Figura 5 Figura mostrando las expresiones de los tiempos de Viaje Ruta 1 Metropolitano y Ruta 2, línea T de Buses Convencionales	75
Figura 6 Rutas 1 y 2, origen y destino comunes área de influencia del Estudio	78
Figura 7 Tendencia histórica del tiempo de viaje del Metropolitano Ruta 1 (Alimentador- Tramo 1 y Expreso 1- Tramo 2)	81
Figura 8 Tendencia del promedio del tiempo de viaje del Metropolitano ruta1 (Alimentador y Expreso 1)	81
Figura 9 Percepción de la calidad de servicios de los buses del Sistema Metropolitano y de los buses convencionales	85
Figura 10 Variación de los tiempos de viaje de los usuarios del Metropolitano y de la Línea T, obsérvese el tiempo de equilibrio según Wardrop	88
Figura 11 Línea de tendencia del expreso1 del Metropolitano hasta alcanzar el tiempo de Equilibrio.	89
Figura 12 Movimiento de los usuarios, Ruta 1 Metropolitano Ruta 2 buses Línea T	91
Figura 13 Figura de las Rutas 1 y 2, con origen y destinos comunes	92
Figura 14 Grafica de la Tendencia promedio del Tiempo de viaje ruta 1 Metropolitano	98
Figura 15 Línea de tendencia extrapolada l expreso1 del Metropolitano hasta alcanzar el tiempo de Equilibrio	98

## RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo determinar en qué medida la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al sistema de buses convencionales aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar este servicio. La investigación fue de diseño no experimental de corte transversal, de tipo descriptivo comparativo, habiéndose realizado conteos de unidades vehiculares en horas pico, registrando tiempos de viaje actuales e históricos, encuestas a usuarios del sistema MetropolitanoBRT como del sistema de buses convencionales. Se ha evaluado la eficiencia, considerando el tiempo de viaje del servicio del Metropolitano y de los buses convencionales mediante el primer principio de Wardrop, desde un punto origen hasta un destino común; verificándose que el tiempo de viaje del Metropolitano tiende a equilibrarse respecto al tiempo de viaje de los buses convencionales, significando el “colapso” del MetropolitanoBRT. Este tiempo de equilibrio al cual no se quisiera llegar, permite alertar, que este sistema BRT viene perdiendo eficiencia y necesita ser mejorado. Los resultados obtenidos mediante el principio de Wardrop, determinan que el tiempo de viaje de equilibrio o de “alerta” entre ambos sistemas es de 59.8min. Analizando la tendencia histórica, los tiempos de viaje promedio del MetropolitanoBRT en el año 2020, fue 47.00min; con un incremento anual de 1.25min.; en el año 2030 alcanzará el tiempo de equilibrio (59,8min) o “colapso”. En conclusión, antes que el servicio del MetropolitanoBRT “colapse”, se debe tomar medidas correctivas, mejorando tiempos de viaje, infraestructura, indicadores de calidad, en beneficio del usuario. Caso contrario, el servicio del MetropolitanoBRT ira empeorando.

**Palabras Clave:** BRT Metropolitano, buses convencionales, tiempo de equilibrio, eficiencia de servicio, previsión y acciones de mejoramiento.

## ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine to what extent the efficiency of the Metropolitan Transport System BRT compared to the conventional bus system, applying the Wardrop principle, allows improving this service. The research was of a non-experimental cross-sectional design, of a comparative descriptive type, having carried out counts of vehicle units at peak hours, recorded current and historical travel times, surveys of users of the Metropolitan BRT system as well as the conventional bus system. Efficiency has been evaluated, considering the travel time of the Metropolitan service and conventional buses through the first principle of Wardrop, from a point of origin to a common destination; verifying that the travel time of the Metropolitan tends to balance with respect to the travel time of conventional buses, meaning the "collapse" of the Metropolitan BRT. This equilibrium time, which we do not want to reach, allows alerting that this BRT system has been losing efficiency and needs to be improved. The results obtained through the Wardrop principle determine that the equilibrium or "alert" travel time between both systems is 59.8min. Analyzing the historical trend, the average travel time of the Metropolitan BRT in 2020 was 47.00min; with an annual increase of 1.25min.; in the year 2030 it will reach equilibrium time (59.8min) or "collapse". In conclusion, before the Metropolitan BRT service "collapses", corrective measures must be taken, improving travel times, infrastructure, quality indicators, for the benefit of the user. Otherwise, the Metropolitan BRT service will worsen.

**Keywords:** Metropolitan BRT, conventional buses, balance time, service efficiency, forecasting and improvement actions.

## I. INTRODUCCIÓN

El primer principio de Wardrop considera que, en condiciones de equilibrio, el tráfico se auto acomoda en una red congestionada. De tal manera que todas las rutas utilizadas tienen el mismo costo, o costo mínimo mientras que todas las rutas no utilizadas tienen un costo mayor. Los usuarios buscan el equilibrio pensando en minimizar su costo individual.

En la presente investigación este principio puede aplicarse y extenderse, para la movilización de usuarios de transporte público, para lo cual fue elegido un origen y un destino, utilizando en ambos casos el Sistema BRT Metropolitano como sistema moderno y el de Buses convencionales, se idealiza la movilización de los usuarios del sistema del BRT Metropolitano como ruta 1, y la de los buses convencionales como ruta 2.

Se consideró evaluar dos sistemas de servicio de transporte público actualmente en operación, el Sistema Metropolitano de Transporte o Metropolitano (BRT), en este estudio Ruta 1, y el sistema de buses antiguos o convencionales, en este estudio Ruta 2, realizando previamente un diagnóstico actual por separado. Para ambos casos se ha elegido las rutas, con el mismo origen y destino, desde Los Cedros de Villa Chorrillos, a Lima Cercado.

De los sistemas de buses convencionales, se evaluó la Línea T, en el tramo Av. Alameda de los Cedros (Origen), hasta la plaza Jorge Chávez (Destino). Del sistema (BRT) Bus de Tránsito Rápido o Metropolitano, se evaluó la Ruta Alimentadora (AS-02), Los Cedros de Villa - Estación Matellini y la troncal Estación Matellini - Estación Central.

Siendo los dos sistemas sujetos a congestión, utilizando el primer principio de Wardrop, se evaluó como el transporte público del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, siendo desde el inicio una buena solución al transporte público masivo, por la acogida que va teniendo día a día, igualmente día a día va siendo víctima de su propio éxito y que va camino a congestionarse hasta ser tan igual, que el sistema tradicional de buses, es decir al usuario del transporte público le va dar igual viajar en buses convencionales o en el

Metropolitano, los tiempos de viaje en el Metropolitano va aumentando, en consecuencia la eficiencia del servicio va disminuyendo paulatinamente, aplicando el Primer Principio de Wardrop, se podrá evaluar, como los tiempos de viaje de ambos sistemas tienden a igualarse o equilibrarse, significando el colapso para un sistema moderno como el BRT Metropolitano, luego analizando la tendencia se conoce predictivamente en qué tiempo y cuando ocurrirá dicho equilibrio, para tomar las previsiones del caso, aplicando recomendaciones que permitan mejorar el servicio del Metropolitano, disminuyendo los tiempos de viaje, mejorando la infraestructura aumentando la capacidad de las estaciones básicamente las intermedias para evitar colas, priorizar unidades en hora punta y en rutas de mayor demanda, mejorar la frecuencia de los alimentadores con más unidades, implementar control remoto de los ciclos de las unidades, incentivar a que las líneas de buses convencionales tiendan a convertirse en corredores del sistema integrado de transporte de Lima y Callao.

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Habiendo transcurrido un poco más de dos décadas de ausencia absoluta de políticas y gestión pública en el transporte, finalizada la primera década de este siglo, la Municipalidad Metropolitana de Lima, como el Gobierno Nacional se han unido para desarrollar sistemas de transporte innovadores para la capital, por una parte la Municipalidad inauguró en julio del 2010 el primer tramo del corredor segregado de buses bautizado como el Metropolitano, e igualmente el Gobierno central inició las operaciones de la primera línea del Tren Eléctrico, Línea 1 del Sistema del Metro de Lima.

El Servicio del Sistema de Transporte Metropolitano, BRT del cual el autor de esta investigación sigue siendo usuario consuetudinario, en el Tramo Chorrillos Lima, a más de 10 años de servicios, ha podido observar, que va disminuyendo progresivamente los atributos

más valorados por los usuarios que lo caracterizan a un sistema BRT, que en orden de jerarquía son los siguientes, *la rapidez, la eficiencia de servicio dada por la gestión de operación, la seguridad, confort aceptable e información al usuario.*

Este Sistema del BRT Metropolitano instaurado como un sistema moderno es además ecológico ya que cuenta con una flota de buses que operan con gas natural, que, comparado con cualquier combustible utilizado en transporte, superan largamente en el cuidado del medio ambiente, permitiendo reducir las emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> en un 30%, y el monóxido de carbono en un 85%.

Sin dejar de considerar menos importantes a los demás atributos, el atributo que los usuarios consideran el más importante, es la rapidez, la cual está relacionada con la velocidad de desplazamiento, la demora, el tiempo de viaje.

El Sistema del Metropolitano BRT, siendo un sistema nuevo, moderno, único en su género, como tal desde un comienzo se hizo tan atractivo captando una gran demanda de usuarios y por tales razones viene superando su capacidad, y que por ello viene siendo víctima de su propio éxito, como consecuencia, la demanda se ha ido incrementando, igualmente el tiempo de viaje ha ido en subida, reduciendo la calidad de servicio; basta ver las colas largas y congestión de usuarios en las estaciones principales, e intermedias, a esto se suma el ciclo irregular de los buses alimentadores que retrasan el tiempo y calidad de desplazamiento del usuario, siendo indicadores que el problema de eficiencia en el servicio es un hecho y que además es una tendencia, asimismo los proyectos de vivienda y comercio (cambio de uso de suelo) que se están desarrollando a lo largo de las troncales en uso, estaciones y paraderos, permitieron un aumento de usuarios, no augurándole un futuro alentador. Por tanto, de seguir la tendencia de aumento en términos de tiempo de viaje y de disminución de la rapidez de desplazamiento, resultará igual, moverse usando el servicio del Metropolitano, o los buses convencionales, el primero sujeto a su propia congestión con

vía segregada y el segundo, con la congestión de la red vial donde se desplaza. Para evitar que este pronóstico se cumpla resultará importante conocer, la relación significativa que existe, al evaluar la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte (BRT) con la eficiencia del sistema de buses convencionales, en el tramo de estudio de Chorrillos a Lima, mediante el primer principio de Wardrop, se podrá conocer predictivamente, cuando ocurrirá lo indeseable es decir, que los tiempos de viaje de ambos servicios se iguallen o se equilibren, lo que permitirá tomar medidas preventivas, para mejorar el servicio, antes que ello ocurra, ya que el tiempo promedio de viaje de un servicio moderno como es el BRT Metropolitano debe ser siempre menor que el tiempo de viaje de los buses convencionales, es decir debe ser más eficiente.

## **1.2 Descripción del problema**

El sistema BRT, nace como una alternativa de transporte público masivo eficiente, el cual utilizando una vía segregada y exclusiva tiene libertad de tránsito, logrando reducir los tiempos de viaje considerablemente, brindando además un servicio eficiente, optimo, seguro y de calidad al usuario.

*A Nivel Global.* En Europa, África, Asia, Oceanía y América, la implementación del sistema BRT se ha dado en las arterias importantes que presentaban congestión significativa de la ciudad, evidenciándose luego un sistema funcional a partir de un buen control tecnológico, con buses modernos de alta capacidad, amigables al medio ambiente, con reducidas emisiones y ruidos, brindando un servicio cómodo y seguro haciendo que este servicio pueda prescindir al usuario el uso del vehículo particular. La característica importante de los BRT, es el tiempo de viaje que comparado al de los buses convencionales es relativamente menor, sin embargo, estos tiempos pueden depender de muchos factores, como ancho de estaciones, tiempo de parada, preferencia en las intersecciones de la vía,

tiempo de abordaje y desembarque. tiempo de espera en las estaciones intermedias y de los alimentadores.

Los BRT se iniciaron con éxito en el Reino Unido, Francia, Alemania, Finlandia, Suecia, en Asia, Beijing, Corea del Sur, en América, la ciudad de Curitiba como principal precursora de este sistema, luego se implementó en Caracas Venezuela, el Transmilenio en Bogotá, Ottawa, Los Ángeles, el Metrobús y Mexibús en México etc. Sin embargo este sistema moderno y exitoso en los países del mundo y América, viene siendo víctima de su propio éxito, ya que al perder la capacidad de atender el aumento constante de la demanda, viene ocasionando congestión y niveles de eficiencia bajos, hasta colapsos en horas punta en las estaciones, que resultan reducidos, haciendo que los tiempos de abordaje, de espera en las estaciones sean mayores y aumenten progresivamente y los tiempos de viaje también aumenten y tiendan a igualarse con los buses convencionales como ya viene ocurriendo en el Transmilenio de Bogotá, en el Metrobús de México Distrito Federal.

**A Nivel Local.** En nuestro país habiendo transcurrido un poco más de veinte años de ausencia absoluta de políticas y gestión pública en el transporte, finalizada la primera década de este siglo, la Municipalidad Metropolitana de Lima, como el Gobierno Nacional se han unido para desarrollar sistemas de transporte innovadores para la capital, por una parte la Municipalidad inauguró en Julio del 2010 el primer tramo del corredor segregado de buses bautizado como el Metropolitano que posee características de BRT, e igualmente el Gobierno central ha iniciado las operaciones de la línea 01 del Sistema Metro de Lima.

Cabe indicar que el Sistema BRT Metropolitano de Lima, es amigable al medio ambiente, cuenta con una flota de buses que operan con gas natural, que comparado con cualquier combustible utilizado en las flotas de unidades de buses convencionales superan



largamente en el cuidado del medio ambiente, debido a que utilizando gas natural reducen las emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> en un 30%, y el monóxido de carbono en un 85%.

### **1.3 Formulación del Problema**

#### ***1.3.1. Problema General***

¿En qué medida la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a la eficiencia del sistema de buses convencionales aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?

#### ***1.3.2. Problemas Específicos***

¿En qué medida el tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?

¿En qué medida la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?

¿En qué medida el tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?

## 1.4 Antecedentes

### 1.4.1. Investigaciones internacionales

El Instituto Mexicano del Transporte (2008) realiza un estudio que lo publica a través de un artículo denominado *Reducción de la Congestión Vehicular y los Principios de Wardrop*, mediante el cual examina brevemente el fenómeno de la congestión del tráfico vehicular revisando dos principios básicos que la explican: los principios de Wardrop. Es natural para cualquier usuario de una red vial, buscar la ruta más corta para ir a su destino, esta búsqueda plantea un problema matemático ya resuelto en los años 1950, el cual está fundamentado, en el conocido algoritmo de Dijkstra que encuentra la ruta más corta en una red formada por nodos y arcos, conociendo las longitudes de los arcos. En aplicación de este principio el estudio desarrolla e ilustra los caminos para ir de la ciudad de Querétaro a la de San Juan del Río en el estado de Querétaro, aplicando dicho algoritmo, se obtiene la ruta más corta. Para ir de Querétaro a San Juan del Río aplicando los principios de Wardrop, de los cuales se concluye que el congestionamiento vial surge cuando el número de vehículos en la red aumenta, lo que obliga a los usuarios a reducir la velocidad y aumentar el tiempo de recorrido. Lo más común es que los usuarios busquen minimizar sus propios tiempos de recorrido cambiando a rutas alternativas.

El ejemplo desarrollado en este artículo muestra que los óptimos, en general, no coinciden y que se necesita de una intervención del planificador del sistema de transporte para motivar a los usuarios a adoptar el patrón de flujos correspondiente al óptimo. El hecho de que los usuarios toman sus decisiones individual e independientemente hace muy difícil que estos se organicen por sí mismos para adoptar el patrón de flujos del óptimo. Por ello, la aplicación de una tarifa basada en la diferencia en los costos marginales de las rutas alternativas es una solución adecuada para incidir en la toma de decisiones de los usuarios y así estimularlos a adoptar el patrón del óptimo social. La realización efectiva de una

imposición de tarifas requiere de tener una referencia del valor del tiempo para los usuarios, (que es un tema de mucho interés en los estudios del transporte), y de un manejo adecuado de las implicaciones políticas que la impopularidad de una medida semejante tiene en la población de los usuarios de las vialidades. Sin embargo, el análisis indica que esta medida está sustentada en la búsqueda del bienestar social que trata de minimizar los impactos negativos del transporte, y no solo en la búsqueda de medidas que mejoren la recaudación fiscal de los gobiernos.

**Moreno, Rico y Bustos (2015)** realizan una investigación que lo divulga a través, de una publicación técnica, N° 427, conjuntamente con la Secretaría de Comunicaciones y Transporte a través del Instituto Mexicano de Transporte presentan la denominada “Funciones volumen-demora en la modelación de flujos vehiculares”,\_Este trabajo aborda el tema de las funciones de volumen-demora, utilizadas en la planeación del transporte para modelar la dependencia del tiempo de tránsito, en función de la intensidad del flujo vehicular en una vía. La dependencia del tiempo de tránsito respecto de los volúmenes vehiculares, permite modelar el fenómeno de la congestión en las redes carreteras, mismo que afecta de modo relevante el desempeño del autotransporte de carga y personas, actividad de gran importancia en la economía nacional.

El cálculo de los flujos vehiculares que utilizan las rutas disponibles en una red de transporte se hace con un modelo de asignación de tránsito vehicular. Para ello se requiere conocer los orígenes y destinos de los movimientos, el número de vehículos que van de cada origen a cada destino y el costo (o al menos el tiempo) que implica circular por cada tramo de la red. En el modelo de asignación es donde las funciones de volumen-demora son relevantes; su fidelidad para representar el fenómeno de la congestión es un atributo de calidad para la modelación y por tanto para la confiabilidad de los pronósticos de los flujos en la red. En el presente trabajo se examinan las funciones de volumen-demora más comunes en el ambiente

de planeación del transporte, sus características y requerimientos de información, así como sus posibilidades de aplicación en la red de transporte terrestre, permitiendo construir bases fundamentadas que mejoren los ejercicios de planeación del transporte a nivel nacional.

**Cortes, Jara y Moreno (2013)**, presentan el trabajo de investigación "*Modelo de Equilibrio Estocástico para Asignación Conjunta de Transporte Público y Privado*" para asignación conjunta de sistemas de transporte público y privado. El modelo conjunto se sustenta del modelo de Equilibrio Estocástico de Transporte Público y del modelo de Equilibrio Markoviano de Transporte Privado. La elección modal se representa mediante un logit multinomial, discrimina entre usuarios que sólo tienen disponibilidad de transporte público y usuarios que pueden acceder a ambos sistemas de transporte. Se provee un algoritmo de implementación del modelo y se presenta algunos resultados numéricos en una red real. Con esta investigación pretenden establecer una nueva metodología, en el campo de los modelos de equilibrios multimodales integrando un elemento que no había sido considerado hasta ahora, la incertidumbre que tienen automovilistas y pasajeros que utilizan los sistemas de transporte a la hora de escoger la ruta que usaran para realizar sus viajes, estableciendo que dentro de la población, el desconocimiento de las condiciones y las características físicas de la red provocan diferentes percepciones entre personas. Utilizando modelos robustos de equilibrio, en los terrenos del transporte público STE (Stochastic Transit Equilibrium) y privado MTE (Markovian Transit Equilibrium), obteniéndose un modelo de equilibrio estocástico, conjunto, en el cual se captura la interacción existente entre ambos modos, reconociendo que tanto los autos como los buses comparten la infraestructura vial de la ciudad.

El modelo de equilibrio estocástico conjunto para ambos modos, conformado por el Modelo STE para la resolución del equilibrio estocástico en transporte público y el modelo MTE para transporte privado, estos interactúan a nivel de demanda en cada - origen

y destino y en los tiempos en arcos, ya que ambos modos utilizan la misma infraestructura vial: Los usuarios en la red de transporte privado, tienen la posibilidad de escoger, utilizar el auto manteniéndose en esta red, o utilizar el bus, traspasándose a la red de transporte público. A su vez los usuarios que solo tienen la disponibilidad de bus son usuarios cautivos de la red de transporte público. El algoritmo general propuesto que permite resolver el equilibrio conjunto recoge las formulaciones y procedimientos de cada modelo individualmente, y una de las mayores ventajas que tiene es que la resolución de los equilibrios parciales es posible realizarla en forma simultánea y no secuencial lo que implica una reducción de tiempo de ejecución, siempre y cuando se tenga equipamiento computacional exclusivo.

**Delgado-Fernández, (2017)**, publican el estudio *“Flujo Vehicular, una perspectiva con transporte Óptimo Ramificado”*, los antecedentes incluyen el problema de transporte de masa de Monge y su versión libre de Kantorovich llamado de Monge- Kantorovich. En este problema la masa se transporta en línea recta, lo cual no siempre es realista tratándose de aplicaciones prácticas. En el transporte ramificado, se plantea que el costo que se puede reducir mediante la unión de esfuerzos al transportar por caminos las masas en su viaje hacia su destino. Se considera al modelar el uso de autopistas usadas por varios autos, transporte público o de carga. El usuario accede a la red preestablecida minimizando costos de transporte por su cuenta, pero una vez que llega a la red está sujeto a tarifas, vialidades y líneas conocidas. En el presente trabajo se usó la teoría de Transporte Óptimo Ramificado, además de los principios de Wardrop de asignación de tránsito. La simulación fue realizada usando datos sintéticos, debido a la carencia y dificultad de obtener datos reales. El simulador que se implementó es ilustrativo de lo que se puede hacer a gran escala, por ejemplo, un usuario puede elegir típicamente un conjunto finito de posibles trayectorias de la red de transporte.

Las rutas o trayectorias son útiles para el usuario, pero el objetivo no versa solamente entorno a las posibilidades del usuario como posible opción en tiempo real, si no en la posibilidad de modificar una subred de transporte, con la finalidad de maximizar el flujo de tránsito. De este modo se podría rediseñar la subred encontrando así una red eventualmente óptima. En este proceso se deben satisfacer las restricciones locales debidas a la infraestructura disponible. Algunas restricciones típicas son los puntos de ramificación posibles en la subred, la capacidad de flujo, las reglas y procedimientos del sistema de tránsito en esa región. Como trabajo inmediato es obtener datos reales de tránsito en una subred y probar las funciones implementadas para una simulación del flujo de tránsito.

**Fernández (2013)** en *“Modelos Matemáticos de Asignación de Tránsito Aplicación a la Red Metropolitana de la Ciudad de México y sus Efectos en el STC – Metro”*, tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad de Iztapalapa México; indica que, en las grandes urbes o ciudades la planificación del transporte urbano es un problema fundamental. El trabajo forma parte de un proyecto de planeación cuyo objetivo es predecir el comportamiento de los usuarios en un sistema de transporte. Específicamente, para ello se estudian modelos matemáticos de asignación de tránsito que están basados en el supuesto de que los usuarios utilizan estrategias de tipo óptimo para alcanzar su destino. Los modelos y sus algoritmos de solución se aplican a la red de transporte del Valle de México, utilizando el programa EMME, el cual tiene incorporadas las herramientas que permiten predecir la asignación de la demanda en escenarios con congestión y restricciones de capacidad en las líneas de transporte. Los pasajeros que utilizan las redes de transporte público para desplazarse de un lugar a otro, en las grandes ciudades, cotidianamente experimentan situaciones de estrés, debido a que la gran mayoría de ellos deben viajar en vehículos de transporte que están saturados de pasajeros, además de padecer retrasos por la congestión vial, sobre todo en horas pico. El crecimiento de la población

seguiría aumentando en los próximos años, por lo que el problema de congestión vial, y el hacinamiento en los vehículos de transporte público en las grandes ciudades, no disminuirán en el corto plazo. Además, se debe considerar que los problemas asociados, como el deterioro de la salud de los pasajeros, manejo de multitudes, seguridad, desperdicio de energía, contaminación y la económica entre otros, deben tomarse en cuenta para encontrar soluciones que permitan mejorar la calidad de vida de los habitantes. De manera más global, los problemas de transporte forman parte de la planeación urbana y del desarrollo sustentable en las grandes ciudades, y se encuentran dentro del tipo de problemas complejos, los cuales requieren del concurso interdisciplinario y de la participación de diferentes instituciones.

Durante las últimas décadas se han hecho grandes esfuerzos, sobre todo en países desarrollados, para generar modelos matemáticos que contribuyan a evaluar los impactos sobre las redes de transporte público cuando se hacen cambios en la red de transporte, o bien cuando se modifica el patrón de servicio. Algunas de las acciones que se utilizan para intentar mejorar el servicio de transporte público son: cambio de rutas, introducción de nuevos modos de transporte y de nuevas líneas, crecimiento de la infraestructura, cambio en los sentidos de algunos ejes viales, entre muchas otros. Para estudiar este tipo de problemas se requiere de métodos de asignación adecuados para evaluar o predecir el impacto de estas acciones y cambios. Además, las herramientas de evaluación operativa y estratégica ayudan a la Planeación y mejoran la eficiencia del sistema, al permitir ahorro de recursos, el diseño de mejores políticas de operación, anticipar acciones de contingencia, mejorar el impacto en el medio ambiente, entre otros. Asimismo, ayudan a proporcionar un mejor servicio a los usuarios.

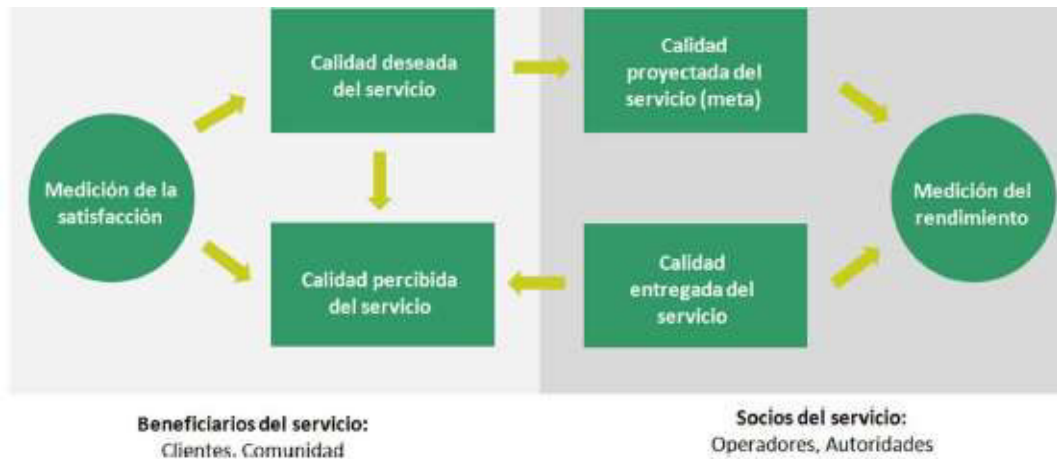
El objetivo de este trabajo es introducir cierta clase de modelos matemáticos de asignación de tránsito, en donde se supone que los usuarios eligen sus rutas basadas en estrategias de tipo óptimo. Para este trabajo es de especial interés tomar en cuenta la

congestión y las restricciones de capacidad de las unidades de transporte, debido a que son muy útiles para la planificación urbana en redes de transporte de gran escala, como la Red Metropolitana del Valle de México, la cual incluye a la Ciudad de México y área conurbada. El trabajo es de especial importancia y utilidad para los sistemas de transporte urbano por al menos dos razones: Para la planeación estratégica, al utilizarse como herramienta principal para definir un plan maestro que permita planear futuras ampliaciones de la red de transporte y la introducción de servicios complementarios, y por otra parte, para la planeación operativa de líneas de transporte, ya que permite medir el impacto generado en una red, al poner en operación otros modos y líneas de transporte; permite la planeación de servicios en escenarios de contingencia; ayuda a estimar los cambios en la ausencia de usuarios a la red, generados por cierres parciales de algunas líneas; mide el impacto del incremento/decremento del número de unidades en operación, entre los más importantes.

**Gutiérrez (2013)** “*Transporte Público de Calidad y la Movilidad Urbana*”, para obtener el grado de Master en Economía, Universidad de Boston (EE.UU. de Norteamérica. U.S.A) documento preparado por la NTU. El autor de este documento considera que es necesario definir cuáles son los atributos y determinantes de la calidad del transporte público, para lo cual afirma que, debemos ponernos en primer lugar del lado de la demanda es decir como usuarios mismos de la movilidad y el espacio público urbano, valorándolos como clientes-consumidores, tomando nota de sus capacidades de compra, necesidades, preferencias y expectativas. Y, luego, identificar en el lado de la oferta las soluciones de mayor calidad-competitividad disponibles en el medio, que puedan servir de referencia para las soluciones en cada ciudad, al mismo tiempo que inspiran la transformación cualitativa del transporte público latinoamericano, para producir clientes plenamente satisfechos y ciudades renovadas y vivibles.



**EN13816 – ECS (2002)** norma europea, sobre “*calidad de transporte público urbano*” ayuda mucho con su metodología del “círculo de calidad de servicio” (Figura 1).

**Figura 1***Círculo de Calidad del Servicio*

Fuente: ECS, 2002.

Tomando en cuenta como punto de partida la calidad deseada por el cliente, el proveedor (autoridad y operador) establece su meta de calidad, considerando además las buenas prácticas de la industria y los rendimientos de los competidores (carro privado y moto), así como las restricciones presupuestales y técnicas. La calidad del servicio que realmente es entregada día-a-día es el punto culminante de este círculo. Esta se evalúa no solo en términos de rendimiento técnico (entrega versus meta) sino fundamentalmente en contraste con el punto de vista del cliente y su nivel de satisfacción (calidad percibida y deseada). Como en cualquier industria, un alto nivel de satisfacción del cliente, que suele traducirse en incrementos de preferencia y demanda, define el éxito del proveedor y su prosperidad. La norma europea EN13816, ofrece una lista detallada de criterios de calidad, muy bien definidos desde la perspectiva del cliente, organizada en 8 categorías:

1. **Disponibilidad:** cobertura del servicio ofrecido en términos de geografía, tiempo, frecuencia y modo de transporte.
2. **Accesibilidad:** acceso al sistema de transporte público incluyendo interfaz con otros modos de transporte.

3. **Información:** suministro sistemático de conocimiento sobre el sistema de transporte público para facilitar la planificación y ejecución de los viajes.
4. **Tiempo:** aspectos del tiempo relevantes a la planificación y ejecución de los viajes.
5. **Atención al cliente:** elementos del servicio introducidos para permitir la mejor practicable combinación entre el servicio estándar y los requerimientos de cada cliente.
- 6.- **Confort:** elementos del servicio introducidos con el propósito de hacer que los viajes en transporte público sean relajantes y placenteros.
- 7.- **Seguridad:** sensación de protección personal experimentada por los clientes, derivada de la aplicación de medidas concretas y de la actividad diseñada para asegurar que los clientes sean conscientes de estas medidas.
- 8.- **Impacto ambiental:** efecto sobre el medio ambiente derivado de la prestación de un servicio de transporte público.

El transporte Urbano Masivo como referente de calidad es sinónimo de sistemas de transporte masivo (Metros, BRT), alta calidad está asociada a alto rendimiento, alta demanda: No obstante, alta calidad y alto rendimiento son cosas distintas. Por más de un siglo los metros han sido, los principales referentes de los estándares de alta calidad en transporte público. La rápida expansión de los BRTS y los BHLS (Bus of High Level Service), el surgimiento del Transmilenio en el 2000, no son más que la extrapolación de los atributos de la calidad de los metros, puestos en sistemas de buses de alta capacidad en superficie, con ventajas en flexibilidad rápida implementación y menores costos, respecto a la alternativa de rieles. Plantea que el BRT es un paradigma muy joven, con extraordinario potencial y ventajas, que requiere consolidarse como alternativa de transporte masivo de alta calidad, dejando atrás el estigma de “alternativa de segunda clase”, al mismo tiempo que sirve de factor estructurante, en conjunción con los sistemas de rieles, de sistemas integrados de movilidad y desarrollo urbano.

**Zambrano y Gavilanes (2014)** en *“Análisis de Competitividad del Transporte Público y el Transporte Privado en la Ciudad de Guayaquil - Sector Sauces”*, tesis para optar el grado de Maestría en Transportes, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, los autores inician indicando que en las últimas décadas y en la inmensa mayoría de las ciudades, los índices de motorización y la demanda de movilidad en vehículo privado aumentan continuamente y con ellos el consumo de energías no renovables, la contaminación atmosférica, el ruido ambiental, la intrusión visual, los accidentes, el peligro y la congestión circulatoria. El planeamiento urbano y la organización de la infraestructura territorial de una ciudad tiene una gran responsabilidad en la gestación de la demanda urbana de movilidad y condiciona de forma importante las posibles respuestas a la misma, en la medida en que define los modelos territoriales y urbanos, la densidad, la distribución espacial de los usos, la disposición de plazas de aparcamiento, etc., principales condicionantes de la demanda de movilidad, además localiza y diseña los espacios públicos y la red viaria, favoreciendo explícita o implícitamente a unos u otros medios de transporte. Considera que en su país, el transporte público en bus presenta muchas debilidades para los usuarios que deben utilizar diariamente este medio de transporte, inconvenientes relacionados con la seguridad en el interior de los buses, frecuencias e itinerarios que no se cumplen, demoras en los traslados por unidades que no cumplen sus horarios, maltratos a los pasajeros, falta de equipamiento y facilidades para el traslado de personas con discapacidades, tarifas definidas sin base técnica, son entre otras, las deficiencias que el usuario debe superar a la hora de tomar un bus del transporte público, frente a ello, en los últimos años, se ha presentado atractiva la posibilidad de adquirir automóviles, lo cual ha desembocado en que cada vez más familias adquieren vehículos para su transporte, incrementando con ello la disputa con los buses por un espacio en las calles de las ciudades.

Por lo dicho, cada día se convierte en una necesidad más urgente de introducir en la práctica de la planificación urbanística, la reflexión sobre las consecuencias que las decisiones urbanísticas tienen en el ámbito de la movilidad y, por tanto, en el uso del automóvil privado y público, así como sus impactos asociados. El autor afirma que el presente trabajo pretende plantear, precisamente, algunas de las herramientas existentes en la ingeniería de transportes, que sirven de base para responder esta necesaria reflexión, analizando la competitividad existente entre el transporte público y privado, en un sector muy representativo del norte de la ciudad de Guayaquil. Finalmente, el aporte de este trabajo, es que está dirigido a orientar tanto a decisores como profesionales del sector de planificación de transporte público y privado, en los ámbitos pertenecientes a las administraciones públicas, como a otros profesionales, sobre la obtención de indicadores como los obtenidos, los cuales pudieran servir para la formulación de proyectos puntuales en materias relacionadas con la ingeniería de transporte, tales como: semaforización, transporte no motorizado, estudios de áreas de parqueos, etc., junto con ello, se puedan realizar también: análisis comparativo entre medios de transporte, concientizar a la población de la repercusión ambiental, económica y social de las actividades relacionadas con el transporte, valorar los impactos producidos por nuestros desplazamientos urbanos, etc., de tal forma que nos enrumbe a una movilidad más sostenible en el tiempo.

**Albuquerque y Barcelos (2015)** realizó una encuesta de satisfacción con usuarios del transporte público, Brasil Ciudades Sostenibles, realizaron una encuesta a más de dos mil usuarios durante un mes en Curitiba, cuyos resultados dieron a conocer a las principales autoridades locales y de la zona.

Los resultados obtenidos reflejaron que, en Curitiba, el sistema de transporte público demostró ser efectivo según la percepción de la población:

El 39% de los usuarios podría viajar en automóvil, pero opta por el autobús. El número está en la Encuesta de Satisfacción Calidad de Ómnibus realizada en la capital Paranaense.

En el periodo de un mes entre noviembre y diciembre, se entrevistaron a 2012 personas dentro de los colectivos, con un cuestionario que aborda la percepción del usuario sobre calidad, frecuencia, confiabilidad, tiempo de recorrido, entre otros. La encuesta considera líneas urbanas y metropolitanas y también evalúa elementos externos que contribuyen directamente a la satisfacción con el sistema de transporte público, como la iluminación en las paradas de autobús y la seguridad. A continuación, se presenta los principales resultados de la encuesta.

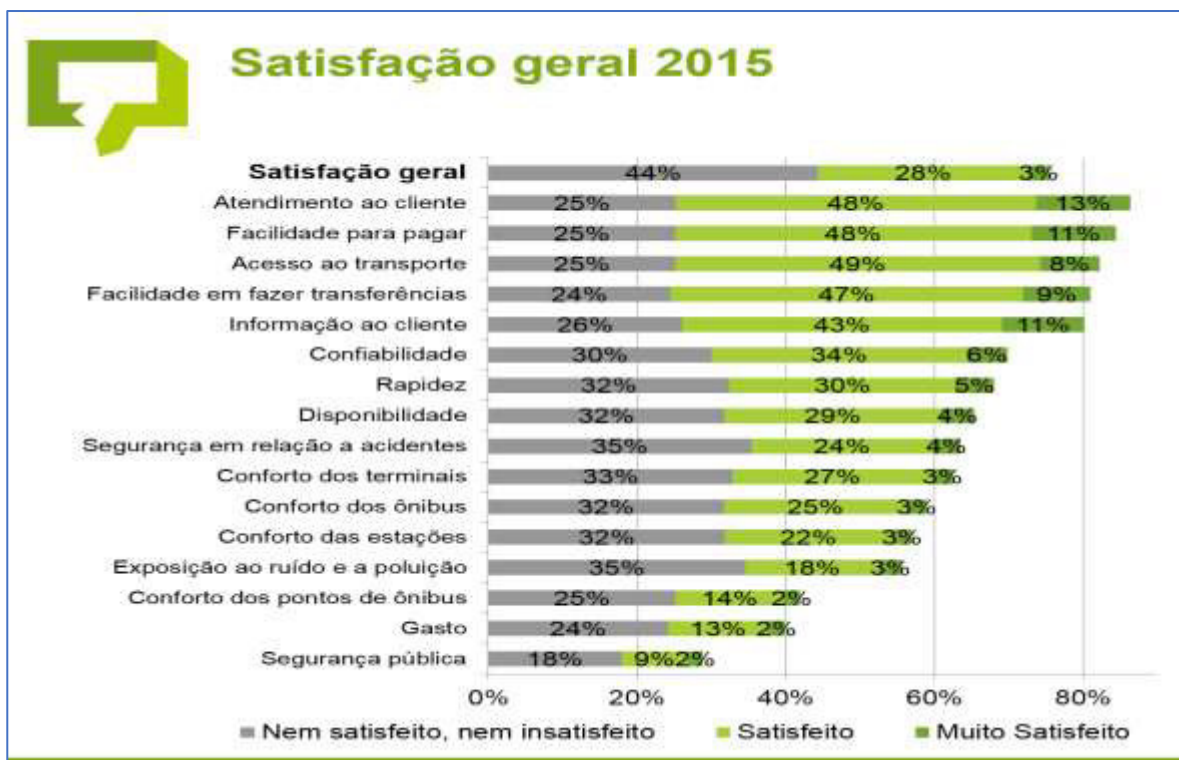
- El 39% de las personas podría viajar en automóvil;
- El 27% de los encuestados utiliza con frecuencia las líneas metropolitanas;
- El 39% de las personas paga otra tarifa en su ciudad después de usar el metro;
- El tiempo de caminata a los puntos de acceso es de menos de 10 minutos para la mayoría de las personas.

Las acciones realizadas para mejorar la Seguridad Pública en Curitiba fueron percibidas:

- 28% piensa que la Campaña “Autobús sin abusos” tuvo impacto en la seguridad.
- El 57% dice que la Modernización y ampliación del uso de la tarjeta de transporte ha mejorado o mejorado mucho la seguridad (reducción del uso de efectivo);
- 29% cree que la intensificación de las acciones de la guardia municipal tuvo un impacto en la seguridad;
- 38% piensa que Usar el monitoreo en acciones de seguridad ciudadana ha mejorado la seguridad.

**Figura 2** Encuesta de Satisfacción a Usuarios de Transporte Público Curitiba, 2015

*Encuesta de Satisfacción a Usuarios de Transporte Público Curitiba, 2015*



*Fuente: WRI Brasil cidades sostenibles*

Entre otros temas, la metodología desarrollada por WRI Brasil, Ciudades Sostenibles permitió identificar las fortalezas y debilidades de los sistemas a partir de la percepción de los usuarios, contribuyendo tanto para las autoridades públicas como para las empresas operadoras para evaluar las inversiones y mejoras necesarias. Realizada por WRI Brasil Ciudades Sostenibles en colaboración con la URBS, la Universidad Federal de Paraná (UFPR) y Alcance Engenharia Júnior, la encuesta forma parte del Programa de Calidad del Servicio de Autobuses.

#### **1.4.2. Investigaciones Nacionales**

**Larios (2021)** en su trabajo titulado “*Modelo de Semaforización Vial y Peatonal para Mitigar Accidentes de Tránsito, aplicando todo en rojo; para la Av. Inca Garcilaso de*

*la Vega e Intersecciones – Ciudad de Lima*”, tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Transporte, Universidad Nacional Federico Villarreal; investiga sobre el transporte urbano en la ciudad de Lima y el desplazamiento de los peatones en las principales intersecciones de vías de alta densidad, los problemas de desplazamiento afecta a los peatones por falta de planificación adecuada del sistema de semaforización en función al volumen vehicular y la densidad poblacional; lo que ha llevado al caos vehicular y al incremento de la accidentabilidad de los peatones, pérdidas de tiempo al trasladarse, la contaminación ambiental, aumento de siniestralidad de vehículos, incremento de accidentes, muertes peatonales en las vías de intersección peatonal y vehicular. La investigación conlleva a mejorar la sincronización de los semáforos peatonales y vehiculares en la intersección de la vía en estudio, mediante el cálculo del tiempo de semaforización, todo en rojo; para reducir los accidentes de tránsito, de tal forma que se haga más fluido el desplazamiento vehicular y peatonal respetando las normas de tránsito, tanto el conductor como el peatón, a fin de evitar accidentes en las intersecciones estudiadas, evitando generar congestión y caos en el tránsito. Considera la geometría del lugar, la cantidad y distribución de movimientos, en hora pico y hora valle, planteando un método semafórico para disminuir el grado de accidentabilidad y muerte peatonal.

El autor considera que los constantes accidentes de tránsito, de menor o mayor grado, ocurren casi a diario en las intersecciones principales de la avenida Inca Garcilaso de la Vega, en la ciudad de Lima, debido a la falta de sincronización de equipos en las intersecciones semaforizadas, tiempos de ciclo no coordinado, entre el peatón y los vehículos, son causantes de muchos accidentes de tránsito en la que el peatón es el más perjudicado, también el mal uso de las vías por parte de los peatonales, que causan el congestionamiento vehicular.



Se busca obtener un plan de mejoramiento del control de señales de tránsito, donde se incluya el sistema coordinado de semáforos de tránsito en la intersección, con un sistema de fases de los ciclos de semáforos (todo en rojo), disminuyendo principalmente el grado de accidentabilidad de vehículos, peatones, muertes y el conflicto de pase Vehículo – Peatón; concluye finalmente que, el mayor volumen de vehículos que transitan por las intersecciones en estudio durante la hora pico de la mañana, mayormente son autos, que hacen un 87% del volumen total. Que las intersecciones como Av. Garcilaso de la Vega con Av. Bolivia se encuentran equipada con semáforos, se encuentran en funcionamiento con un tiempo de ciclo de 214 segundos, presentando un nivel de servicio “D”, con demoras de 39.7 segundos, esto se debe al gran número de vehículos que transitan por esta vía llegando a transitar hasta 3,212 vehículos (3,408 UCP) por hora en la intersección principal. Que con este modelamiento puesto en práctica se disminuirá los accidentes de tránsito, y mejora el desplazamiento peatonal en las intersecciones principales de la avenida Inca Garcilaso de la Vega mediante la aplicación del modelo de semaforización vial y peatonal, todo en rojo. Finalmente, la semaforización vial y peatonal, todo en rojo, mejora el sistema de seguridad vial en las intersecciones principales de la avenida Inca Garcilaso de la Vega.

**Correa (2018)** en *“El Sistema de Transporte y el Caos Vehicular en la Ciudad de Huacho periodo 2016”*, tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Transporte, Universidad Nacional Federico Villarreal, investiga sobre el deficiente sistema de transporte y el caos vehicular que existe en la actualidad en la ciudad de Huacho - Huaura, considera que representa un grave problema y resulta ser una traba para el desarrollo integral de la ciudad de Huacho. Diagnostica que esta ciudad, alberga a 175,585 de habitantes y que representa el 0.293% del total de la población peruana, distribuidos en siete (7) distritos, los mismos que se movilizan a través de diferentes medios de transporte, cuyo movimiento se inicia a las (5.00 am) de cada día con una variante en los días feriados y domingos, debido al

descanso semanal. El sistema de transporte está normado por la Municipalidad Provincial de Huaura para las vías urbanas y el Ministerio de Transportes para las vías principales que cruzan la ciudad de Huacho, se diseñó sin tener en cuenta el movimiento diario de su población, por lo mismo que se torna incontrolable el desorden y el caos de vehículos debido a la falta de planificación, Asimismo, la autorización de líneas de transporte interdistritales se efectuaron sin coordinación con todos los alcaldes distritales y la autorización de empresas de servicios de transporte interprovinciales con oficinas y terminales dentro de la ciudad urbana y además la autorización de moto taxis sin ningún análisis y solo para lograr inducir votos para su reelección como alcaldes y regidores. Considera que hay un desorden total en la ciudad metropolitana de Huacho, al circular a la vez combis de transporte público, moto taxis, servicios de taxis, triciclos, camiones y tráileres distribuyendo mercadería, cuya turgurización genera el caos vehicular y la pérdida irrecuperable de horas hombre, consumo innecesario de combustibles, desgaste de maquinaria, paralización del crecimiento económico de la provincia, expulsando además moho que envenena el medio ambiente, produciendo enfermedades en los niños y ancianos.

Concluye que el sistema de transporte y el caos vehicular en la ciudad de Huacho período estudiado, ocasiona una turgurización incontrolable y cuantiosas pérdidas económicas por el excesivo tiempo que se demora para trasladarse de un lugar a otro dentro de la misma ciudad, conforme se demuestra con los indicadores obtenidos como resultados de la investigación realizada, es decir que el 95.08 % de los encuestados no cree que mejore el sistema de transporte y disminuya el caos vehicular en la ciudad de Huacho. Que la opinión de una mayoría absoluta de los encuestados, afirman que el sistema de transporte no será eficiente y el caos vehicular se incrementará en la ciudad de Huacho en los periodos siguientes, debido a que no se cuenta con políticas de transporte y tampoco existe un plan vial y que no se logrará un sistema de transporte eficiente y por tanto habrá incidencia en el

desarrollo económico en la ciudad de Huacho en el período estudiado, incrementando la pobreza y la desatención a las demandas sociales.

**Noriega (2014)** en su trabajo de investigación titulada *“Plan Vial para una distribución eficiente del Tráfico de Vehículos en la ciudad de Moyobamba”*, tesis para optar el título de Maestro en Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, considera que el área urbana de la ciudad de Moyobamba presenta inconvenientes en la distribución de los viajes, debido principalmente a problemas de congestión vehicular, incremento de los tiempos de viaje y déficit de infraestructura; estos inconvenientes son consecuencias propias del crecimiento de las actividades económicas y del aumento de la población. La demanda de transporte se incorpora a través de matrices que cuantifican los viajes en el par origen-destino (O-D) de la encuesta domiciliaria de viajes. Para la distribución de los viajes vehiculares desarrolló el sub modelo gravitacional doblemente acotado, el cual permite representar los viajes generados y atraídos en el par O-D por modo utilizado; y para la asignación de los flujos en las redes se tuvo en cuenta el primer principio de Wardrop. Con la información ingresada a la base de datos del Transcad se presenta la modelación de la red vial, identificando las vías más cargadas potencialmente utilizadas por la demanda para llevar a cabo estos desplazamientos. Con los resultados se procede a la jerarquización de la red vial urbana. Finalmente, concluye y recomienda lo siguiente:

La propuesta del plan vial se apoya en el plan de desarrollo urbano de la ciudad de Moyobamba PDU 2013-2018, en términos de la estructura urbana. Para el modelado de la distribución de los viajes en la red vial, se utilizó el modelo gravitacional doblemente acotado, el cual determina los viajes en el par O-D de acuerdo con la generación y la atracción de viajes entre zonas relacionadas y una función de impedancia exponencial negativa, que depende del tiempo de viaje entre zonas. Para la obtención de los flujos en las redes se utilizó el modelo de asignación de Equilibrio del Usuario/Determinístico (User

Equilibrium; UE), se basa en el 1er. Principio de Wardrop, que dice: en condiciones de equilibrio, en una red congestionada, el flujo se acomoda de modo que todas las rutas utilizadas en un par Origen-Destino dado tienen el mismo costo mínimo, mientras que las rutas no elegidas tienen costos iguales o mayores, el primer principio de Wardrop, indica que habrá equilibrio en la red cuando ningún usuario pueda reducir unilateralmente su costo de viaje, mediante un cambio de ruta.

La jerarquización de las vías se determinó teniendo presente los flujos optimizados en los arcos de las vías propuestas para tal fin. La solución al problema de la congestión vehicular difícilmente puede basarse en la ampliación de la capacidad de las redes viales, como se ha visto en la práctica, ya que, aparte de la dificultad de construir en el ambiente urbano, donde muchas veces ya no hay espacio disponible, estas construcciones implican costos de enormes magnitudes. Se recomienda que esta propuesta del plan vial, sea tomada como base para los futuros estudios definitivos; asimismo, se recomienda la construcción de las diferentes vías y puentes propuestos en el plan vial.

**Flores (2017)** en *“Análisis de la Metodología Clásica del Modelo de Planificación del Transporte Urbano desde el Ámbito de la Movilidad Sostenible”*, tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima; evalúa la compatibilidad de los criterios del modelo tradicional de planificación de transporte con aquellos correspondientes a un enfoque de movilidad sostenible. El análisis se realiza a través de tres etapas.

En primer lugar, se desarrollan los principios seguidos en el método tradicional de planificación de transporte de cuatro etapas. La primera etapa de generación de viajes, consiste en determinar la cantidad de viajes producidos por zonas en un área de estudio, a partir de ciertos atributos socioeconómicos de la población. La etapa de distribución de viajes, en cambio, determina los flujos de viajes entre zonas, mediante la obtención de una

matriz de viajes. Luego, en la etapa de partición modal se obtienen los porcentajes de uso de cada modo de transporte para los flujos de transporte estimados. Finalmente, la etapa de asignación de viajes resuelve la distribución final de los flujos de viajes a través de rutas en la red de transporte. En segundo lugar, se analizan los criterios del enfoque de movilidad sostenible en relación al modelo tradicional, mediante la comparación de estos criterios con los presupuestos y procedimientos de las cuatro etapas de modelación. En base a ello, se evalúan posibles incompatibilidades en los procesos seguidos en el modelo clásico para cada etapa de modelación. Posteriormente, se describen algunas políticas actuales de transporte que buscan adaptar la metodología clásica a un enfoque sostenible. En ese sentido, se resalta la promoción de los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS), los cuales tienen respaldo en muchas ciudades del mundo. Por último, se describen los principios de modelación que siguieron dos estudios de planificación en la ciudad de Lima: un plan maestro de transporte de Lima, y el estudio de demanda de los corredores complementarios de la ciudad. En base a los criterios empleados en ambos modelos, se pudo demostrar que existen incompatibilidades entre los supuestos del modelo clásico y los criterios de un enfoque sostenible. Si bien la estructura del modelo constituye una herramienta útil para la planificación a largo plazo, esta carece de elementos desagregados que puedan ser empleados. Dada la simplificación de los modelos matemáticos del método clásico, se torna complejo usar data a nivel de individuo, con la cual se analice eficientemente el comportamiento de viajes de bajo consumo energético. No obstante, se resalta el uso reciente de planes basados en un enfoque sostenible, que buscan lograr una adaptación del modelo.

### **1.5 Justificación de la investigación**

El Sistema de transporte público en Lima Metropolitana, siempre se ha caracterizado por ser informal e ineficiente, con las llamadas “combis asesinas”, con los buses informales

sometidos a la “guerra del centavo” han contribuido a que el servicio de transporte público sea ineficiente, inseguro e incómodo, con tiempos de viaje prolongados que no favorecen al usuario llegar a tiempo a su destino, tener que viajar expuestos a la inseguridad por robos o accidentes de tránsito y a viajes incómodos en las unidades. En la primera década del presente siglo se inicia el proyecto de implementación del sistema de BRT (Bus Rapid Transit) en Lima Metropolitana, siguiendo el ejemplo de los BRT de las mejores ciudades del mundo y de Sudamérica como, Curitiba, México, el Transmilenio de Bogotá; se implementa para Lima Metropolitana el denominado BRT Metropolitano, utilizando alguna infraestructura existente, cumpliendo las principales exigencias de un BRT, como son, desplazarse en una vía segregada, tener estaciones propias de salida, de llegada e intermedias, buses amplios cómodos y seguros que operan con gas natural es decir, amigables al medio ambiente.

Al inicio, la operación del sistema BRT Metropolitano de Lima tuvo poca acogida incluso hubo muchas protestas, en forma paulatina fue siendo aceptado, la demanda se fue incrementado, muchos usuarios fueron migrando paulatinamente desde otros servicios, ya que este sistema ofrecía, rapidez, seguridad y comodidad en el viaje. Sin embargo, como en todos los BRT del mundo como el caso del Transmilenio de Bogotá, vienen siendo víctimas de su propio éxito, basta ver las grandes colas en las estaciones, que implica demoras, por la espera de las unidades para ser abordadas, sobre todo aquellas estaciones de conexión con los alimentadores, contribuyendo a que los tiempos de viaje tiendan a incrementarse, en perjuicio de los usuarios del servicio del BRT Metropolitano.

En tal sentido a fin de conocer esta tendencia del aumento de los tiempos de viaje que se resume en ineficiencia del servicio; el presente estudio de investigación pretende conocer, mediante la evaluación de la eficiencia del servicio del BRT Metropolitano a través de los tiempos de viaje de este sistema, con la evaluación de la eficiencia o tiempos

de viaje del servicio de buses convencionales, para luego compararlos aplicando el primer principio de Wardrop, hasta que los valores de los tiempos de viaje se igualen o se equilibren, entendiéndose esta igualdad como una alerta de un posible colapso del sistema BRT Metropolitano, porque se estaría igualando al sistema convencional de buses, advirtiendo que se debe tomar medidas correctivas urgentes. antes que ello ocurra. Para ello se ha tomado un “arco origen destino común” de estudio con los dos sistemas; como origen común (Los Cedros de Villa Chorrillos) y como destino común (Lima Cercado).

Del sistema (BRT) Metropolitano, se evaluará desde la Av. Los Incas, (Cedros de Villa Chorrillos) siguiendo la Ruta Alimentadora (AS-02), Estación Matellini, hasta la Estación Central (Lima Cercado), en las rutas del servicio expreso y las rutas B o C. De los sistemas de buses convencionales, se evaluará la Línea T, en el tramo, desde la Av. Los Incas, (Cedros de Villa Chorrillos) hasta la plaza Jorge Chávez, (Lima Cercado). Siendo los dos sistemas sujetos a congestión, en forma independiente, cada uno en su recorrido, haciendo uso del primer principio de Wardrop, se requiere conocer como la eficiencia del transporte del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, va decreciendo paulatinamente siendo víctima de su propio éxito, los tiempos de viaje de este sistema van en aumento con la tendencia a igualarse, con el sistema de buses convencionales, al usuario del transporte público le va dar igual ir, desde los Cedros de Villa Chorrillos (origen) al Cercado de Lima (destino), en el Metropolitano BRT, o en los buses convencionales. La evaluación del tiempo de viaje, desde los Cedros de Villa hasta el Cercado de Lima, viajando en lo Metropolitano y en los buses convencionales, utilizando el Primer Principio de Wardrop, se podrá conocer en qué tiempo se igualarán los tiempos de viaje, siendo una alerta para tomar las previsiones del caso, antes que esta igualdad ocurra.

### ***1.5.1. Teórica.***

Las razones que han motivado realizar el presente trabajo de investigación es identificar como el servicio del sistema BRT Metropolitano va perdiendo eficiencia, comparando los tiempos de viaje del servicio del BRT Metropolitano, con los tiempos de viaje del servicio de buses convencionales mediante el primer principio de Wardrop, en un arco de estudio cuyo origen y destino es el mismo; como un servicio más eficiente como es el BRT Metropolitano tiende a igualarse en el tiempo, con un servicio de menor eficiencia como son los buses convencionales. Dicha igualdad a la cual no se debe llegar, debe servir como alerta para tomar medidas correctivas en el servicio del BRT Metropolitano antes que ello ocurra.

Los resultados de esta investigación permitirán conocer en qué tiempo un sistema de transporte más eficiente en términos de tiempos de viaje, tiende a igualarse con otro menos eficiente, advirtiendo de esta manera para tomar medidas correctivas, antes que ocurra dicha igualdad, o que el sistema más eficiente colapse.

### ***1.5.2. Práctica***

Los resultados y el proceso de esta investigación servirán para ser replicados en otros dos sistemas de transporte público, uno de mayor eficiencia con otro de menor eficiencia, desde un origen y destino común, para conocer como el de mayor eficiencia va variando respecto al de menor eficiencia tendiendo a igualarse y antes que ello ocurra tomar medidas correctivas para que el sistema de mayor eficiencia se mantenga y no baje al nivel de menor eficiencia.

### ***1.5.3. Metodológica***

La metodología y evaluación utilizada, tanto a nivel de diseño, tipo y enfoque, en esta investigación, permitirá obtener resultados confiables que pueden ser replicados o utilizados



por otros investigadores para conocer y verificar como una nueva contribución y aplicabilidad en la evaluación de dos sistemas de transporte público masivo.

#### ***1.5.4. Social***

El presente estudio de investigación, generaría un gran impacto social, en los usuarios del BRT Metropolitano, puesto que con las acciones de previsión advertidas con los resultados de este estudio se tendrá un servicio más eficiente con tiempos de viaje más regulares, menos congestión y menos colas en las estaciones intermedias y en las estaciones terminales, evitando demoras al usuario y contribuyendo llegar a tiempo a sus respectivos destinos. Igualmente, el usuario podrá percibir, un servicio de calidad, seguro con confort y eco amigable.

#### ***1.5.5. Importancia de la investigación***

La implementación de las acciones del presente estudio de investigación permitirá, reducir tiempos de viaje a los usuarios del BRT Metropolitano, con un consecuente servicio más eficiente con tiempos de viaje regulares, menos congestión y menos colas en las estaciones intermedias y en las terminales, evitando demoras al usuario y contribuyendo llegar a tiempo a sus respectivos destinos. Igualmente, el usuario podrá percibir, un servicio de calidad, seguro con confort y amigable al medio ambiente.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Toda vez que la investigación está fundamentada en un estudio descriptivo-comparativo entre dos sistemas de transporte público, uno más eficiente y moderno que el otro, ambos sistemas están sujetos a su propia congestión, en el caso del más moderno como es el BRT Metropolitano, la congestión se desarrolla en su propia ruta segregada, en sus propias estaciones y en el caso de los buses convencionales la congestión se desarrolla en la propia ruta de la red vial urbana, vale decir existen dos tipos de congestión que son

inherentes a la eficiencia de cada sistema, que para ser evaluados es necesario levantar información de campo en forma independiente, existiendo limitaciones, en el caso del BRT Metropolitano, primero porque no conceden información a externos relacionada a aforos de usuarios, y restringen el ingreso de aforadores externos, esta limitación fue superada por el investigador, que como usuario del Metropolitano ha levantado la información personalizada necesaria para el estudio, para el caso de los buses convencionales, no han habido restricciones ni limitaciones de este tipo.

Para la etapa de implementación del estudio que implica realizar acciones dirigidas a recuperar la eficiencia, como son la implementación de buses eco amigables en las rutas alimentadoras, ampliación de las estaciones y mejorar la gestión de las rutas, las limitaciones en esta etapa serán del orden presupuestal. Otra limitación importante es que siendo la congestión vehicular un problema general en todo Lima Metropolitana y el Callao, esta investigación se enmarca, solo para dos sistemas de transporte público, uno más eficiente que otro y para un solo “arco origen y destino”, pero con la ventaja que puede replicarse para otros arcos origen y destino distintos de la malla urbana.

### ***1.6.1. Limitación espacial***

Por tratarse de un estudio que involucra dos rutas con origen y destino comunes dentro de la malla urbana de Lima, la limitación que se tuvo fue en la manera como tomar el área de influencia de los puntos origen y destino, de Chorrillos y Lima cercado; a fin de salvar esta limitante, se utilizó las zonas de tránsito del estudio de demanda de la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico AATE, determinándose para el área de influencia del origen, Chorrillos las zonas de tránsito 207; 208, y las zonas de tránsito 4; 13; 14; 16 para el destino que es el Cercado de Lima.

### **1.6.2. Limitación temporal**

El estudio depende de datos históricos para establecer la tendencia anual; por periodos semanales o mensuales no era recomendable por lo que se optó utilizar información anual obtenida de campo desde el año 2017 hasta febrero del 2020, un mes antes de la emergencia sanitaria por la COVID 19.

### **1.6.3. Limitación social**

La Municipalidad Metropolitana de Lima, entidad que se encargó de desarrollar, ejecutar y poner en funcionamiento el BRT Metropolitano, estaba limitada como tal para la administración del Metropolitano, por tal motivo se le encargó a Pro transporte: el cual estuvo encargado de la administración del BRT Metropolitano hasta antes de la creación de la Autoridad de Transporte para Lima y Callao (ATU), ente que actualmente se encarga de la administración general y total del BRT Metropolitano, como del sistema de transporte de Lima y Callao.

**Inspectores del Metropolitano:** Los inspectores del Servicio de Transporte Metropolitano, se encargan del control en las estaciones, principales e intermedias, como también de informar a los usuarios, los cuales se mostraban un tanto indiferentes para brindar información necesaria para el estudio; motivo por el cual se tuvo que recabar información propia como usuario en las estaciones. En el caso de buses convencionales obtener información fue más sencilla.

**Conductores del Metropolitano:** Los conductores, llamados también choferes, es un personal rentado entrenado y capacitado para conducir las unidades del Metropolitano, los mismos que ejercen su trabajo de conducción aislados de los usuarios no pudiendo hacerles entrevistas ni mucho menos encuestas, por ello se optó por recabar información propia como usuario, en lo referente a frecuencias, tiempo de recorrido, etc. En el caso de los buses convencionales la información requerida resulto ser más sencilla ya que son más accesibles.

**Usuarios del Metropolitano:** Los usuarios del Metropolitano están constituidos por personas de diferentes edades, principalmente, por aquellas que conforman la PEA, PES, la PEO. Obtener información dentro de las unidades resultó ser una limitante, por la desconfianza que el mismo usuario se genera, por ello las entrevistas y encuestas se ha realizado fuera de las unidades en los paraderos y estaciones propias del BRT Metropolitano.

**Investigador:** El encargado de realizar la presente investigación, se encontró con las limitaciones expuestas entre otras, por ello las tuvo que superar apelando al ingenio y a los recursos que estuvieron a su alcance.

## **1.7. Objetivos**

### ***1.7.1. Objetivo general***

Determinar, en qué medida la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto a la eficiencia del sistema de buses convencionales aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

### ***1.7.2. Objetivos específicos***

Determinar en qué medida el tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

Determinar en qué medida la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

Determinar en qué medida el tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

## **1.8. Hipótesis**

### ***1.8.1. Hipótesis general***

La Evaluación de la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a la eficiencia del sistema de buses Convencionales aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

### ***1.8.2. Hipótesis específica***

H<sub>1</sub>: La evaluación de la eficiencia del tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

H<sub>2</sub>: La evaluación de la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

H<sub>3</sub>: La evaluación del tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco conceptual

#### 2.1.1. *Conceptos relacionados al problema*

**Buses Alimentadores:** En el Caso del Metropolitano son los autobuses, destinados al traslado de personas, pudiendo ser urbano e interurbano con capacidad de 60 pasajeros aproximadamente, trasladando por las rutas alimentadoras, llevando y trayendo hacia las Estaciones alimentadoras tanto en el Norte como del Sur.

**Capacidad Vial:** Según unam.mx se define como:

La tasa máxima de flujo que puede soportar una vía o calle. De manera particular, la capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos (peatones) que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control. Se define también como máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial y representa su oferta. (p. 2).

**Conductor de Vehículo:** También llamado chofer, es la persona encargada de conducir un vehículo de motor. Según el Manual de Seguridad comprende las siguientes tareas, las cuales algunas deben de realizarse simultáneamente. **Control:** Manipulación física del vehículo mediante el volante, acelerador y frenos del vehículo. El conductor recibe información por sus sentidos naturales de equilibrio, oído y tacto.

**Encausamiento:** Selección de una velocidad y trayectoria segura mediante un proceso de decisiones continuas para posicionarse en el carril, mantener distancia entre vehículos y realizar maniobras complicadas como el adelantamiento. El conductor recibe información de la vía, el entorno, otros elementos de tránsito y de la señalización vial.

**Navegación:** “Es un proceso de planificar y llevar a cabo un viaje de origen a fin. La información puede llegar de hitos naturales y artificiales, señalización informativa, mapas, internet y sistemas electrónicos. para transportar personas”. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2017, p.45).

**Congestión Vehicular:** Cuando en una calle, una avenida o una carretera (ruta) hay una cantidad excesiva de vehículos, imposibilitando la circulación. Así surge la congestión, también conocida como atasco o embotellamiento. Vía que está al borde de la capacidad vial.

**COSAC (2017)** (Corredor Segregado de Alta Capacidad). Denominado Sistema también COSAC I (Metropolitano), es el nuevo sistema integrado de transporte público, de Lima, cuenta con buses articulados, de gran capacidad que circulan por corredores exclusivos de la ciudad, bajo el esquema de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT). (p.38).

**Demanda de Trafico:** “Es el número de vehículos o personas que desean viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico. Donde existe congestión, la demanda es mayor que el volumen actual”. (Cal y Mayor y, Cárdenas, 2007, p.169)..

**Estaciones del Metropolitano:** Metropolitano rutas (2016) señala:

Las estaciones del Metropolitano son zonas y estructuras de interconexión entre tramos, sirven, para el embarque, desembarque y/o trasbordo de pasajeros, cuenta con una estación central, que sirve como eje de interconexión con el norte y el sur, y dos estaciones principales en el norte la estación Naranjal y en el sur la estación Matellini. Cuentan con diseño físicos sin barreras para personas con discapacidad, y con servicios de seguridad permanente a través del Circuito Cerrado de TV- CCTV; Personal policial; Orientadores del servicio; Servicio libre de internet a través de Wifi; Sistema de información de frecuencias y horarios; Ingreso directo y rápido a los buses a través de plataformas; Servicios de compra y recarga de tarjetas en PVA's y taquillas; Centro comercial; Servicios higiénicos adecuados; Limpieza

permanente de las estaciones; Centro de Atención de Tarjetas; Tópico y ambulancia; Centro de monitoreo. (p. 1).

**Las Vías Expresas Metropolitanas:** Son aquellas que sirven directamente al área Urbana Metropolitana. (O.M N° 341-2001-MML)

**Paraderos del Metropolitano:** Un paradero es una zona de espera, de embarques, desembarques de pasajeros. Todas las estaciones, del Metropolitano son paraderos, incluyendo la estación central.

**Principios de Wardrop:** Principios desarrollados por John Glen Wardrop (1922-1989), nacido en Warwick, Inglaterra, quien, siendo matemático inglés y analista del transporte, estableció lo que se conoce como el primer y segundo principios de equilibrio de Wardrop en el campo de la asignación del tráfico. Utilizados para predecir los patrones de tráfico en redes de transporte que están sujetas a congestión.

**Primer Principio de Wardrop:** "Bajo condiciones de equilibrio el tráfico se auto acomoda en una red congestionada, de tal manera que todas las rutas utilizadas tienen el mismo costo (costo mínimo) mientras que todas las rutas no utilizadas tienen un costo mayor" (Ortúzar y Willumsen, 1994, p. 304).

**Segundo Principio de Wardrop:** "Bajo condiciones de equilibrio el tráfico debería acomodarse en una red congestionada, de tal manera que el costo total del sistema sea mínimo" (Ortúzar y Willumsen, 1994, p. 305).

**Red Vial Urbana:** Son aquellos espacios de la vía pública dedicados a la circulación de personas y vehículos y al estacionamiento de estos últimos, así como sus elementos funcionales.

**Ruta:** Camino definido entre dos puntos determinados, con origen, itinerario y destino debidamente identificados. (Regla. Jera Vial).



**Ruta alimentadora del Metropolitano:** Son vías no exclusivas que tienen por finalidad acercar a los usuarios del Metropolitano hacia los terminales para realizar la conexión con la ruta troncal.

**Sistema de BRT (Bus de Tránsito Rápido):** CEPAL, 2010 nos dice que

Es un sistema basado en buses de alta calidad, que proporciona movilidad urbana rápida, cómoda y con un costo-beneficio favorable a través de la provisión de infraestructura segregada de uso exclusivo, operaciones rápidas y frecuentes, y excelencia en mercadeo y servicio al usuario/cliente. El sistema del BRT esencialmente emula las características de desempeño y atractivo de un sistema de transporte masivo moderno basado en rieles, pero a una fracción del costo menor”. (p. 1) .

**Sistema de Buses Convencionales:** “Son aquellos vehículos terrestres y automotores diseñados exclusivamente para el traslado de personas, el cual puede ser urbano o interurbano y cuya capacidad oscila entre diez (10) a sesenta (60) pasajeros por unidad”. (Gómez, 2010, p. 168).

**Sistema de Transporte Privado:** Wikipedia (2021) menciona que:

Es aquel tipo de transporte, que no está abierto o disponible para el público en general. Técnicamente, el transporte privado se diferencia del transporte público en tres aspectos: Primero, el transporte privado no está sujeto a rutas, el usuario selecciona el camino que considere más conveniente para llegar a su destino. Segundo, no depende de horarios, a diferencia del transporte público donde el horario del viaje está dispuesto a la disponibilidad de los servicios. Tercero, la velocidad es selección del viajero (dentro de las limitaciones del Vehículo, y de la infraestructura). En ese tipo de transporte la demanda es el usuario o el automóvil y la oferta es la infraestructura. La bicicleta, el automóvil, caminata, la motocicleta,

avión privado, forman parte del transporte privado de una ciudad. (*Diccionario de la Lengua Española*). (p. 1).

**Sistema del Metropolitano BRT.** Wikipedia (2022) señala que: es un sistema de autobuses de tránsito rápido que opera en la ciudad de Lima, capital del Perú. El Metropolitano, es un sistema que cuenta actualmente con una ruta troncal y 21 rutas alimentadoras. La ruta troncal, denominada COSAC I (Corredor Segregado de Alta Capacidad) o Corredor 1, es una ruta segregada que cuenta con 38 estaciones y una extensión de 36 km que está complementada con rutas alimentadoras que alimenta el sistema troncal en sus extremos. Esta ruta troncal recorre la ciudad de Lima en sentido sur a norte conectando 17 distritos, desde el distrito de Chorrillos en la estación Matellini hasta el distrito de Independencia en la estación Naranjal. Transporta un promedio de un millón de pasajeros en su ruta troncal, conformada por las líneas (A, B, C y D) y los expresos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, Súper Expreso Sur y Súper Expreso Norte. Las rutas alimentadoras transportan un promedio 600 mil pasajeros al día, convirtiéndose así en el servicio de transporte más utilizado de la ciudad desde el 2015. Fue inaugurado en el año 2010. (p. 1).

**Sistema Transporte Público:** Wikipedia (2013) lo define como el:

Llamado también transporte colectivo de pasajeros, es el Servicio de transporte de una ciudad que puede ser utilizado por cualquier persona para trasladarse de un lugar a otro a cambio de una cantidad de dinero. Los viajeros de transporte público tienen que adaptarse a los horarios y a las rutas que ofrezca el operador y dependen en mayor o menor medida de la intervención regulatoria del Gobierno. "Los autobuses, trolebuses, tranvías, trenes, ferrocarriles suburbanos, ferris, y el metro, forman el transporte público de una ciudad" (*Diccionario de la Lengua Española*). (p.1).

**Sistema Vial Metropolitano:** Red de Vías aprobado mediante la Ordenanza Municipal N° 341-2001-MML, cuya clasificación para Lima Metropolitana, en su Artículo Segundo considera las siguientes categorías: Vía Expresa, Nacional, Regional, Subregional, Metropolitana, Vía Arterial, Vía Colectora, Vía Local.

**Tasa de Flujo:** “Frecuencia a la cual pasan los vehículos, o personas por un punto durante un tiempo específico”. (Cal y Mayor, y Cárdenas 2007, p.169).

**Tarjeta Electrónica:** Dispositivo con el cual se paga el pasaje en forma automática, en el Perú se ha instaurado en la Línea 1 y en el Metropolitano.

**Tiempo de Espera:** Utilizado generalmente en el sistema de transporte público; es el tiempo que transcurre desde que usuario llega al paradero o zona de abordaje hasta que aborda la unidad de transporte.

**Tiempo Generalizado de Viaje:** También conocido como costo generalizado de viaje (CGV), es el tiempo total de viaje, incluyen la espera, en el vehículo, la caminata, más tarifas.

**Tiempo de Viaje o tiempo de Traslado:** Tiempo durante el cual los peatones y vehículos unen dos puntos llamados orígenes y destino, incluyendo las demoras.

**Tiempo Promedio de Viaje:** Tiempo durante el cual los peatones y vehículos unen dos puntos llamados orígenes y destino, incluyendo las demoras.

**Tráfico:** Paso de vehículos, personas o mercancías por un lugar, o por una vía.

**Transito Anual:** “Número Total de Vehículos que pasan durante un año”. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.170).

**Transito Mensual:** “Número Total de Vehículos que pasan durante un mes. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.170).

**Transito Semanal:** “Número Total de Vehículos que pasan durante una semana”. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.170).

**Transito Diario:** “Número Total de Vehículos que pasan durante un día”. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.170).

**Transito Horario:** “Número Total de Vehículos que pasan durante una hora”. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.171).

**Tránsito menor a una hora:** “Número Total de Vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora año”. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.171).

**Transito:** Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía.

**Transporte:** Vehículo o medio que se usa para trasladar personas o cosas de un lugar a otro.

**Uso de Suelo.** Municipio de Medellín (2006) menciona que:

El uso de suelo establece criterios para la localización de actividades y procesos económicos, donde se definen tres categorías y se identifican actualmente cuatro categorías generales en el suelo urbano y asigna usos a cada una de ellas, Áreas y corredores de actividad múltiple, Áreas y corredores de usos especializados, Áreas predominantemente residenciales, Áreas de producción (categoría incluida) - Identifica cinco Tipologías de usos: Residencial, Comercial, Industrial, Servicios, Usos especiales (aquellos que requieren aprobación específica: salud, educación, vivienda). - Clasifica los usos en: principales, complementarios, definidos realmente para la revisión como complementarios y compatibles condicionada, y prohibida. - Plantea criterios para la definición de usos del suelo, los cuales se enfocan bajo conceptos del control de conflictos funcionales y control de degradación de sectores, en cuanto a calidad ambiental, entorno seguro, modernización de servicios públicos, calidad espacial, integración con otras actividades, demandas de bienes y servicios, complejidad tecnológica, movilidad, revitalización de sectores, dinamización social y económica. Todo lo anterior orientado a lograr una mezcla de usos. (p. 798).

**Valor del Tiempo de Viaje o tiempo de traslado.** Es la valoración monetaria del tiempo de viaje, que depende del modo de transporte, las razones del viaje, región, nivel socioeconómico.

**Vía:** Camino, arteria o calle. Lugar por donde se permite el tránsito de vehículos.

**Vía Arterial:** “Son aquellas vías que permiten el tránsito vehicular, con media o alta fluidez, baja accesibilidad y relativa integración con el uso del suelo colindante. Estas vías deben ser integradas dentro del sistema de vías expresas y permitir una buena distribución y repartición del tráfico a las vías colectoras y locales. El estacionamiento y descarga de mercancías está prohibido”.( Ambrosio, 2014, p. 5).

**Vía Colectora:** “Las vías colectoras sirven para llevar el tránsito de las vías locales a las arteriales y en algunos casos a las vías expresas cuando no es posible hacerlo por intermedio de las vías arteriales. Dan servicio tanto al tránsito de paso, como hacia las propiedades adyacentes”. (Manual VCHI, 2005, p. 3/7).

**Vía Expresa:** “Son aquellas que establecen la relación entre el sistema interurbano y el sistema vial urbano, sirven principalmente para el tránsito de paso (origen y destino distantes entre sí). Unen zonas de elevada generación de tráfico transportando grandes volúmenes de vehículos, con circulación a alta velocidad y bajas condiciones de accesibilidad. Sirven para viajes largos entre grandes áreas de vivienda y concentraciones industriales, comerciales y el área central”. (Manual VCHI, 2005, p. 2/3).

**Vía Local:** “Son aquellas cuya función principal es proveer acceso a los predios o lotes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio, generado tanto de ingreso como de salida”. (Manual VCHI, 2005, p. 3/7)

**Volumen de Transito:** “Es el número de vehículos, o personas, que pasan por un punto durante un tiempo específico”. (Cal y Mayor, y Cárdenas, 2007, p.169)

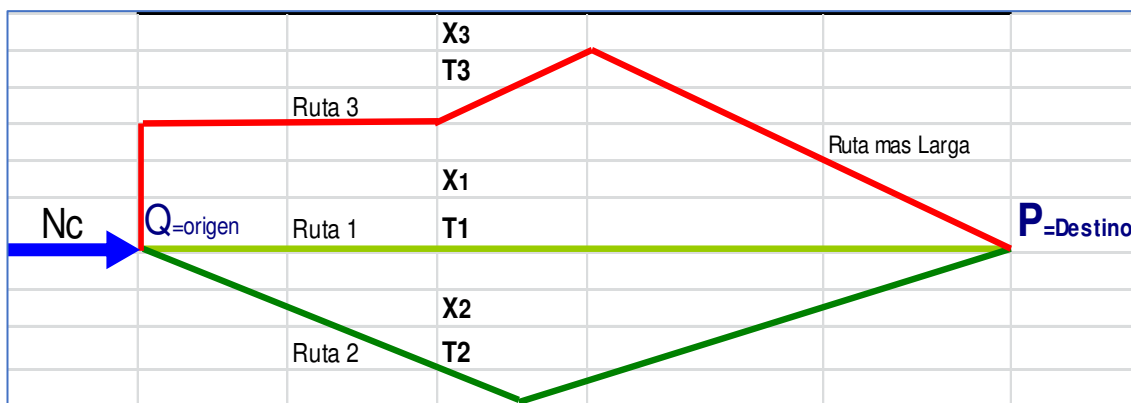
### 2.1.2. Bases Teóricas Especializadas sobre el Tema

**2.1.2.1. Primer Principio de Wardrop.** “Bajo condiciones de equilibrio, el tráfico se auto acomoda en una red congestionada, de tal manera que todas las rutas utilizadas tienen el mismo costo (costo mínimo), mientras que todas las rutas no utilizadas tienen un costo mayor”. (Ortuzar y Willumsen, 1994, p. 304).

Es decir, los usuarios buscan el equilibrio pensando minimizar su costo individual. En el gráfico siguiente se ilustra el primer principio de Wardrop.

**Figura 3**

*Esquema de Rutas primer Principio de Wardrop*



$$N_c = X_1 + X_2 = \text{Número Total de usuarios}$$

$$Q = \text{Origen}$$

$$P = \text{Destino}$$

$$T_1 = a + Fc_1 \cdot X_1 = \text{T tiempo utilizado por el usuario por la ruta 1 en (min)}$$

$$T_2 = b + Fc_2 \cdot X_2 = \text{T tiempo utilizado por el usuario por la ruta 2 en (min)}$$

$$X_1 = \text{Número de usuarios que se desplazan por la ruta 1}$$

$$X_2 = \text{Número de usuarios que se desplazan por la ruta 2}$$

$$a = \text{T tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 1}$$

$b$  =Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 2

$FC1$  = factor de congestión por la ruta 1

$FC2$  = factor de congestión por la ruta 2

Del figura analizando solo la ruta 1 y la ruta 2, se tiene lo siguiente:

- i)  $T1 > T2 \Rightarrow X1 = 0; X2 = Nc$
- ii)  $T1 < T2 \Rightarrow X1 = Nc ; X2 = 0$
- iii)  $T1 = T2 \Rightarrow X1 \geq 0; X2 \geq 0 \Rightarrow X1 + X2 = Nc$

Las rutas ocupadas 1, y 2 tienen igual tiempo de viaje, las demas rutas como la ruta 3 tiene un tiempo de viaje mayor, por lo tanto se desestima.

El primer principio establece que el tiempo de viaje en todas las rutas alternativas que conectan dos puntos tiende a igualarse. De un comentario realizado por Adolfo Cobo, del “Transmilenio y el principio de Wardrop”, en el cual muestra que en el BRT Transmilenio un servicio, más antiguo que el BRT Metropolitano se vienen presentando congestiones que retrasan en tiempo y en calidad del desplazamiento de los usuarios, tendiendo a igualarse al sistema antiguo de buses. En analogía a lo que está pasando en el Metropolitano, se toma para ser demostrado en el presente trabajo considerando lo siguiente: Para el flujo de vehículos, esto significa que, si existiendo una arteria vieja y larga que conecta dos sitios de la ciudad (Ruta 2) , una autoridad local decide reducir el tiempo de viaje construyendo una ruta más corta (Ruta 1) , el resultado será infructuoso si la nueva vía no tiene una gran capacidad, porque a la larga se congestionará tanto como la vía vieja. Para el caso de la movilización de personas o transporte público para el presente trabajo; la analogía seria la siguiente: “ Si existiendo un sistema clásico de buses convencionales que conectan dos puntos de la ciudad con una ruta larga (Ruta 2); una autoridad local pretende reducir el

tiempo de viaje o de transporte, para unir esos mismos puntos, construyendo un nuevo sistema como el Metropolitano (Ruta 1) con una ruta más corta, en un principio puede que se logre; pero con el paso de los años muy probablemente el tiempo promedio de viaje se incrementará y la calidad del servicio se reducirá hasta igualarse al sistema de transporte viejo de buses convencionales”, para el caso de Lima es el servicio prestado por los buses convencionales sujetos a la guerra del centavo. El problema que se genera, es que el nuevo sistema en un comienzo se hace tan atractivo que arrastra un número muy grande de demanda que supera su capacidad, siendo víctima de su propio éxito. En el caso del Metropolitano basta ver las actuales congestiones en estaciones y buses que retrasan el tiempo y calidad de desplazamiento para entender que esto puede ya estar pasando. Y el futuro no es alentador si se tiene en cuenta el cambio de uso de suelos, la cantidad de proyectos de vivienda y comercio que se están desarrollando a lo largo de las troncales en uso y de las proyectadas. Tal comentario y analogía, se demuestra en el presente trabajo, evaluando ambos sistemas de transporte. El equilibrio de ambos sistemas, no es conveniente para el sistema moderno o el Metropolitano, pero significará una alerta, para conocer cuándo ocurrirá, y tomar medidas que permitan mejorar este servicio antes que se igualen con los buses convencionales.

**2.1.2.2. Congestión Vehicular.** La palabra congestión es utilizada generalmente en el contexto del tránsito vehicular, sin embargo, el diccionario de la lengua española 21ª edición, lo define como la “acción o efecto de congestionar o congestionarse”, obstruir el paso o la movilización de algo, definición que no es muy convincente para el desarrollo de este trabajo, por lo que vale la pena realizar una definición un poco más técnica:

La congestión es la “fricción” entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, etc. Sin



embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una posible definición objetiva sería:

“La congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás. A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más fuertemente las velocidades de circulación” (Thomson y Bull, 2001, p. 6).

“Los prestigiosos especialistas en modelación de transporte consideran que la congestión se da, de la siguiente manera: “y el surge la congestión en condiciones en que la demanda se acerca a la capacidad de la infraestructura transitada tiempo de tránsito aumenta a un valor muy superior al que rige en condiciones de baja demanda”. (Ortúzar y Willumse, 1994).

Una definición muy taxativa y precisa considerada en un proyecto de ley chileno con el fin de implantar una tarificación por el uso de vías afectas a congestión vial, dice lo siguiente. Se declaraba congestionada aquella vía en que más de la mitad de su extensión total, considerando tramos no necesariamente consecutivos, la velocidad media espacial del flujo fuese inferior a 40% de la velocidad en régimen libre. Esta condición debería verificarse al menos durante cuatro horas diarias entre martes y jueves, mediante mediciones hechas durante cuatro semanas seguidas entre marzo y diciembre.

No siendo muy minuciosos, pero siendo muy objetivos, el término congestión podría definirse como “la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta la demora de los demás en más de x%”. Una definición objetiva, aunque todavía arbitraria de la congestión, sería el volumen de tránsito en que  $d(qt)/dt = at$ , en que, por ejemplo,  $a = 1.50$ . Es decir, la congestión comenzaría en el momento en que el cambio en la demora de todos los vehículos ya presentes en el

flujo es igual a la mitad del tiempo de viaje que tendría un vehículo adicional. (Thomson y Bull, 2001, p. 9).

Una definición un tanto que nace del sentido común, es la cantidad excesiva de vehículos en una vía, que imposibilitan la circulación, se conoce también como atasco o embotellamiento, o cuando una vía está al borde de la capacidad vial, o cuando tiende a un nivel de servicio "E".

**2.1.2.3. Calidad del Transporte Público.** Las propiedades y atributos de la calidad de transporte público varían de acuerdo al país, área geográfica, realidades socioeconómicas, por lo que para poder entender es preciso ser usuario o demandante de este servicio. La norma europea ofrece una lista detallada de criterios de calidad, muy bien definidos desde la perspectiva del cliente, o usuario organizado en ocho categorías.

- 1. Disponibilidad:** cobertura del servicio ofrecido en términos de geografía, tiempo, frecuencia y modo de transporte.
- 2. Accesibilidad:** acceso al sistema de transporte público incluyendo interfaz con otros modos de transporte.
- 3. Información:** suministro sistemático de conocimiento sobre el sistema de transporte público para facilitar la planificación y ejecución de los viajes.
- 4. Tiempo:** aspectos del tiempo relevantes a la planificación y ejecución de los viajes.
- 5. Atención al cliente:** elementos del servicio introducidos para permitir la mejor practicable combinación entre el servicio estándar y los requerimientos de cada cliente.
- 6. Confort:** elementos del servicio introducidos con el propósito de hacer que los viajes en transporte público sean relajantes y placenteros.
- 7. Seguridad:** sensación de protección personal experimentada por los clientes, derivada de la aplicación de medidas concretas y de la actividad diseñada para asegurar que los clientes sean conscientes de estas medidas.

**8. Impacto ambiental:** efecto sobre el medio ambiente derivado de la prestación de un servicio de transporte público. (Gutiérrez, 2013, p. 2).

La norma de certificación europea UNE-EN 13816 para transporte público de pasajeros pretende caracterizar al máximo la calidad de un servicio de transporte público (independientemente del componente analizado) y por ello se definen ocho ámbitos. Estos ámbitos pueden ir subdividiéndose a medida que se profundiza en el análisis o a medida que aumenta la complejidad del sistema de transporte público. Por ello se definen distintos niveles, asociándose un nivel creciente a medida que aumenta el tamaño y la complejidad de las empresas del sistema. A continuación, se muestra los ocho ámbitos de calidad básicos.

1. **Servicio ofertado:** Tipos de oferta del sistema, adecuación a las necesidades del cliente, fiabilidad de los servicios...
2. **Accesibilidad:** Facilidad de uso del sistema (física y psicológica)
3. **Información:** Provisión de información sobre el sistema
4. **Tiempo:** Duración del viaje, coordinación y cumplimiento horario
5. **Atención al cliente:** Comunicación y trato personal con el cliente, asistencia, compromisos.
6. **Confort:** Comodidad, higiene y servicios complementarios del sistema.
7. **Seguridad:** Protección y prevención de agresiones y accidentes, gestión de las situaciones de emergencia
8. **Impacto ambiental:** Minimización de los impactos producidos por el sistema de transporte público sobre las personas y el medio ambiente.

Dicha definición ha de tener en cuenta que existen unas características (prerrequisitos o atributos) comúnmente esperadas y consideradas implícitas que, por tanto, sólo admiten cumplimiento total (pequeños incumplimientos producen gran insatisfacción en los usuarios).

Los clientes se sienten satisfechos con el servicio cuando su percepción del mismo coincide con sus expectativas. Para conseguirlo, además de la calidad de servicio producida, influyen factores personales (necesidades, motivaciones, actitudes y experiencia previa) y factores de situación (evidencias de servicio y factores que condicionan y/o orientan las percepciones y/o las expectativas).

**Palabras clave:**

**BRT Metropolitano.** Es un sistema de autobuses de tránsito rápido que opera en la ciudad de Lima, capital del Perú, cuenta actualmente con una ruta troncal y 21 rutas alimentadoras. La ruta troncal, denominada COSAC I (Corredor Segregado de Alta Capacidad) o Corredor 1, es una ruta segregada que cuenta con 38 estaciones y una extensión de 36 km que está complementada con rutas alimentadoras que alimenta el sistema troncal en sus extremos, fue inaugurado en el año 2010 (Wikipedia, Metropolitano (Lima), 2022), (Boletín N° 08 Cepal Transporte 2012. p. 01).

**Buses convencionales.** “Son unidades o vehículos terrestres y automotores diseñados exclusivamente para el traslado de personas, el cual puede ser urbano o interurbano y cuya capacidad oscila entre diez (10) a sesenta (60) pasajeros por unidad”. (Gómez, 2010, p. 110).

**Tiempo de equilibrio.** Según el primer principio de Wardrop, “es el tiempo en el cual el tráfico se acomoda en una red congestionada, de tal manera que todas las rutas utilizadas tienen el mismo costo (costo mínimo)”. (Ortuzar y Willumsen. 1994, p. 304).

**Eficiencia de servicio.** Según la norma de certificación europea UNE-EN 13816, “que caracteriza la calidad del transporte público, la eficiencia de servicio está dada por la

duración del viaje, coordinación, cumplimiento del horario. Lo cual permite planificar y ejecutar viajes al usuario” (Gutiérrez, 2013, p. 2)

**Previsión.** Es una proyección de lo que algo sucederá, si ocurre o tienen lugar en ciertas condiciones, o una predicción realizada mediante el estudio de datos históricos y patrones pasados (Diccionario de la lengua española)

**Acciones de mejoramiento:** Acciones correctivas, y de mejora para eliminar las causas de no conformidad reales, potenciales y fortalecer oportunidades: (te, 2023)

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo de investigación

Se realizó una investigación descriptivo-comparativo de corte transversal, según (Sampieri-Collado et al., 2014), la investigación comparativa establece las causas o los factores de riesgo que inciden en determinados problemas. Además, permite comparar uno o varios grupos que tienen el problema, con uno o varios que no lo tienen, con el fin de determinar los factores que contribuyeron al problema. Por otro lado, de acuerdo con Sampieri-Collado et al. (2014), “los diseños transversales (transeccionales) recopilan datos en un momento único” (p. 154). Para los mismos autores, “los diseños transeccionales descriptivos indagan la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población, son estudios puramente descriptivos” (p. 155).

Finalmente, la tesis utilizó un estudio descriptivo que, según Sampieri-Collado et al. (2014) “Los estudios descriptivos busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población” (p. 92). Recoge, resume, organiza, presenta y generaliza los resultados de las observaciones. Basándose en el estudio de casos, encuestas, predicción entre otras.

a) De acuerdo a la orientación. La investigación es aplicada en la cual se demostrará, que evaluando la eficiencia del sistema Metropolitano BRT, existe una tendencia a igualarse con la eficiencia del sistema de buses convencionales.

b) De acuerdo a la direccionalidad. La investigación es prospectiva, ya que de acuerdo a los resultados que se obtengan, al evaluar la eficiencia del servicio del BRT Metropolitano, respecto a los buses convencionales, permitirá en el futuro mantener y mejorar la eficiencia del servicio del BRT Metropolitano.

### 3.2. Población y muestra

#### 3.2.1. Población

**Cálculo de la Población.** La caracterización de las zonas de tránsito del origen para este estudio proyectado es básicamente para el año 2021 y hasta el 2022, son las siguientes:

**Tabla 1**

*Población de las Zonas de Transito 207,208 Área de Influencia*

Zona de Transito	Población Proyectada (2021)	Área Útil (has)	Densidad	Rango	Uso de Suelo
207	8 952	393	53	B	V-C
208	86 695	527	119	B	V
Total	95 647 habitantes				

Fuente: Zonas de Transito Actualizadas Estudio de Demanda AATE

La población actualizada del área de influencia del origen del presente estudio dada por las zonas de tránsito 207 y 208 es la siguiente:

$$Población (207, 208) = 8\,952 + 86\,695 = 95\,647 \text{ habitantes.}$$

Según la información de la última encuesta Lima Como Vamos 2021, las personas que usan transporte colectivo del tipo bus para Lima y Callao son un promedio actualizado de  $(37.40+31.10)/2 = 34.25\%$ , y las que utilizan el servicio del Metropolitano son  $(2.60+1)/2 = 1.80\%$  en promedio, ver tabla siguiente:

**Tabla 2***Porcentaje Modos de transporte Lima y Callao.*

<b>Transporte Colectivo</b>	<b>%</b>	<b>Transporte Individual</b>	<b>%</b>	<b>Transporte no Motorizado</b>	<b>%</b>
	<b>73.60%</b>		<b>16.30%</b>		<b>10.10%</b>
<b>Bus</b>	<b>37.40%</b>	Automóvil Propio	10.40%	Caminata	8.70%
Combi o Custer	28.30%	Mototaxi	2.80%	Bicicleta	1.40%
<b>Metropolitano</b>	<b>2.60%</b>	Motocicleta	1.70%		
Colectivo	2.20%	Taxi	1.40%		
Corredores	1.60%				
Complementarios					
Metro de Lima	1.50%				
	<b>67.50%</b>		<b>18.70%</b>		<b>13.80%</b>
<b>Bus</b>	<b>31.10%</b>	Automóvil Propio	9.60%	Caminata	12.40%
Combi o Custer	30.10%	Mototaxi	3.80%	Bicicleta	1.40%
Colectivo	5.30%	Taxi	2.90%		
<b>Metropolitano</b>	<b>1.00%</b>	Motocicleta	2.40%		

Fuente: Encuesta Lima Como Vamos 2017.



**Tabla 3***Población de estudio*

<b>Estratos de la Población</b>	<b>Tamaño de la Población por Estrato</b>
<b>Población Metropolitano</b>	
PEO Met (39.50%).	680
PES Met (35.50%).	611
Otros Met (25%)	431
<b>TOTAL</b>	<b>1 722</b>
<b>PEO Bus tradicional</b>	
PEO Bus (39.50%).	12 940
PES Bus (35.50%).	11 629
Otros Bus (25%)	8 190
<b>TOTAL</b>	<b>32 759</b>

### 3.2.2. Muestra

**3.2.2.1. Cálculo y descripción de la Muestra.** Para el cálculo de la muestra se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

$\sigma$  = Desviación Estándar

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza

Para efectos de realizar, las encuestas de las personas que viajan en bus y en el metropolitano se ha calculado el tamaño de las muestras por separado, utilizando las poblaciones de las personas que viajan en el Metropolitano y en buses convencionales.

Tamaño de la muestra de las personas que viajan en el Metropolitano.

$$N = 1\,722 \text{ Hab}$$

$$\sigma = 0.5$$

$$Z (95\%) = 1.96$$

$$E = 0.05$$

$$n(M) = 314$$

Tamaño de la muestra de las personas que viajan en Buses convencionales

$$N_b = 32\,759 \text{ Hab}$$

$$\sigma = 0.5$$

$$Z (95\%) = 1.96$$

$$e = 0.05$$

$$n(B) = 380$$

Luego de calcular el tamaño de las muestras, para las personas que viajan en Metropolitano y en bus por separado, se utilizó el tipo de muestreo probabilístico estratificado, en la medida que la población está dividida en sub conjuntos o grupos de acuerdo al modo de transporte y tipo de población que viaja, los que viajan a trabajar (PEO), los que van a estudiar (PES), el tamaño de cada grupo o estrato se ha fijado teniendo en cuenta la población de la (PEO), de la (PES) y Otros, los que viajan en el Metropolitano y en Bus. Cada muestra es proporcional a cada población.

Calculando el factor de proporción para cada muestra.

Factor de Proporción  $f(M)$

$$f(M) = n(M) / N_m$$

$$f(M) = 314 / 1722$$

$$f(M) = 0.18235$$

Factor de Proporción  $f(B)$

$$f(B) = n(B) / N_m$$

$$f(B) = 380 / 32759$$

$$f(B) = 0.01160$$

**Tabla 4***Muestra estratificada proporcional por tipo de viaje*

<b>Estratos de la Población</b>	<b>Tamaño de la Población por Estrato</b>	<b>Cálculo del tamaño del Estrato</b>	<b>Estrato por Muestra</b>
<b>Pob. Metropol</b>			
PEO Met (39.50%).	680	$680 * 0.18235$	124
PES Met (35.50%).	611	$611 * 0.18235$	111
Otros Met (25%)	431	$431 * 0.18235$	79
<b>TOTAL</b>	<b>1 722</b>		<b>314</b>
<b>PEO Bus</b>			
PEO Bus (39.50%).	12 940	$12940 * 0.0116$	150
PES Bus (35.50%).	11 629	$11629 * 0.0116$	135
Otros Bus (25%)	8 190	$8190 * 0.0116$	95
<b>TOTAL</b>	<b>32 759</b>		<b>380</b>

Para aplicar los instrumentos de colección de datos se ajustó tomar muestras aleatoriamente y directamente en las unidades, de la muestra estratificada, para el Metropolitano y para los buses de la Línea T, tomando en cuenta la mayor capacidad que para ambos es de 80 pasajeros que se da en horas punta, para ello se estima el número de unidades de cada uno donde se realizará la toma de muestras.

$$N^{\circ} \text{ Unid Metropol} = nM/\text{CapMax} = 314/80 = 4 \text{ Unidad Metropolitano}$$

$$N^{\circ} \text{ Unid Buses} = nB/\text{CapMax} = 380/80 = 5 \text{ Unidad Buses de la T.}$$

La toma de muestras se realizó en el metropolitano aleatoriamente, una unidad por día en hora punta durante 4 días de los cuales 3 días son de semana y un día de fin de semana, y para la línea T, una unidad por día en hora punta durante 5 días de los cuales 4 días son de

semana y un día de fin de semana. Para obtener los datos de la segunda dimensión se aplicó el instrumento a todos los integrantes de la muestra, sin embargo, debido a que en muchos casos los participantes en la investigación no contestaron completamente los ítems tuvo que considerarse a los usuarios tanto del Metropolitano como de los buses convencionales a 120 usuarios por cada caso; se han excluido aquellos instrumentos que no han sido respondidos en su totalidad, asimismo se ha incluido a aquellos instrumentos que han sido en su totalidad.

### **3.3. Operacionalización de variables**

Para la selección de variables de este estudio se ha tomado en cuenta que estas sean operables y mensurables, se asigna el significado y definición en el contexto de la investigación basándose en rasgos que se presentan en la realidad, siendo además operativas y concretas referidas a indicadores directamente observables.

#### **Definición conceptual de variables:**

- **Sistema Metropolitano de Transporte BRT.** – “Es un sistema de autobuses de tránsito rápido que opera en la ciudad de Lima, capital del Perú, cuenta con una ruta troncal y 21 rutas alimentadoras. La ruta troncal, denominada COSAC I (Corredor Segregado de Alta Capacidad) o Corredor 1, es una ruta segregada que cuenta con 38 estaciones y una extensión de 36 km que está complementada con rutas alimentadoras al sistema troncal en sus extremos”. (Cepal, 2012, p. 01).
- **Buses convencionales.** “Son vehículos terrestres y automotores diseñados exclusivamente para el traslado de personas, el cual puede ser urbano o interurbano y cuya capacidad oscila entre 10 a 60 pasajeros por unidad”. (Gómez, 2010, p. 110).

**Tabla 5***Operacionalización de las Variables*

	<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>V1: VARIABLE 1</b>	Eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de Viaje o de traslado de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Valor del Tiempo de viaje en flujo libre de los usuarios del Sistema BRT “a”.</li> <li>▪ Valor del Tiempo de viaje en flujo congestionado de los usuarios del sistema BRT Metropolitano (FC1*X1).</li> <li>▪ Valor del Tiempo viaje Total de los usuarios del Sistema BRT Metropolitano <math>T1 = a + FC1 * X1</math>.</li> <li>▪ Comodidad, confort de los usuarios, del Sistema Metropolitano BRT.</li> <li>▪ Seguridad, protección de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT</li> <li>▪ Limpieza y cuidado del medio ambiente del servicio del Sistema Metropolitano BRT.</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Valor del Tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del sistema BRT y de los usuarios del sistema de buses convencionales. <math>Te = T1 = T2</math></li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de Viaje de equilibrio de los usuarios del sistema Metropolitano BRT y de los buses Convencionales</li> </ul>	

## VARIABLE 2

Eficiencia del sistema de transporte de buses convencionales

- Tiempo de Viaje o de traslado de los usuarios del Sistema de buses convencionales.
- Percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de buses convencionales.
- Tiempo de Viaje de equilibrio de los usuarios de los buses convencionales y del Sistema Metropolitano BRT.

- Valor del Tiempo de viaje en flujo libre de los usuarios del Sistema de buses convencionales, “b”.
- Valor del Tiempo de viaje en flujo congestionado de los usuarios del sistema de buses convencionales ( $FC2 * X2$ ).
- Valor del Tiempo de Viaje Total de los usuarios del Sistema de buses convencionales ( $T2 = b + FC2 * X2$ )
- Comodidad, confort de los usuarios, del Sistema de buses convencionales.
- Seguridad, protección de los usuarios, del Sistema de buses convencionales.
- Limpieza y cuidado del medio ambiente del servicio Sistema de buses convencionales.
- Valor del Tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del sistema de buses convencionales y de los usuarios del sistema Metropolitano BRT ( $T_e = T2 - T1$ )

### 3.4. Técnicas e Instrumentos

El presente trabajo de investigación considera que, evaluando la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto al sistema de buses Convencionales aplicando el principio de Wardrop; permitiría mejorar este servicio de BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

Conociendo los valores totales de los tiempos de viaje desde un punto origen (P) hasta un punto destino (Q), del servicio del Metropolitano BRT (T1) y del servicio de buses convencionales (T2), que cuantitativamente se interpreta como eficiencias de servicios respectivamente, al evaluar dichos tiempos o eficiencias de servicio aplicando el principio de Wardrop, se llega a obtener un tiempo de viaje de equilibrio,  $T1=T2$ , este tiempo de viaje de equilibrio. indica que la eficiencia del servicio del Metropolitano se igualaría con la eficiencia del servicio de los buses convencionales, advirtiendo que se debe mejorar el servicio BRT Metropolitano, como esto se da paulatinamente en el tiempo, evaluando la tendencia se puede estimar, en que tiempo ocurriría este equilibrio, permitiendo tomar medidas correctivas, antes que ello ocurra.

Se ha elegido para ello, el arco origen destino comunes, pero de diferente recorrido denominados Ruta 1 para el Metropolitano y Ruta 2 para los buses convencionales en este caso de la Línea T o ETUSA elegida para este trabajo por ser la única línea de buses que une el mismo origen y destino del Metropolitano. A partir de este escenario y bajo los fundamentos expuestos y requerimiento de información se ha elegido las diferentes herramientas e instrumentos de apoyo que existen para la investigación de campo para esta clase de estudios como son la observación, las mediciones de aforos de tránsito, encuestas origen destino, mediciones de frecuencias, medición de distancias y recorridos, medición de velocidades, entrevistas con cuestionarios.

Los estudios de campo se han realizado en los escenarios indicados, de la Ruta 1 del Metropolitano y la Ruta 2 de los buses convencionales, en este caso los buses de la Línea T ETUSA de Chorrillos a Lima Cercado.

### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

La recolección de datos se realiza con instrumentos que a su vez están asociados a ciertas técnicas. En la presente investigación se utilizaron las siguientes técnicas.

- a) **Censo.** – La técnica del censo se ha utilizado en el presente estudio para el aforo del tránsito, vehicular en horas punta, de las unidades del BRT Metropolitano, en los puntos de origen y de las unidades de la línea T, lo cuales representan a los buses convencionales. Censos de velocidades, tiempos parciales.
- b) **Encuesta.** – Esta técnica se aplicó a los usuarios del BRT Metropolitano y de los buses convencionales de la Línea T, con el objeto de obtener información sobre los orígenes y destinos del recorrido, de sus viajes en ambos casos. Asimismo, se realizó encuestas sobre la percepción de la eficiencia y calidad de servicio del BRT Metropolitano como de los buses Convencionales de la Línea T.

**Tabla 6**

*Instrumentos Utilizados para la Investigación*

<b>TÉCNICAS</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
Censo	Formulario Censal
Encuesta	Cuestionario



### 3.4.2. Instrumentos utilizados en el presente trabajo

En el presente trabajo se ha utilizado las técnicas más conocidas de investigación, desde la investigación documental y la investigación de campo, en el primer caso, se ha realizado consultas y actualizaciones de información existente, básicamente de la información escrita y gráfica, concerniente a las zonificación de tránsito de diferentes estudios relacionados con la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico, información de Pro transporte y de los operadores del Metropolitano, igualmente información técnica recopilada de diferentes fuentes bibliográficas físicas y virtuales y diferentes páginas web relacionadas con el tema, los cuales han sido procesados y actualizados conforme al requerimiento del tema a desarrollarse. Con relación a los trabajos de campo, se ha realizado investigaciones en el medio y escenarios donde se presenta el fenómeno teniendo en cuenta que el objetivo principal del presente trabajo es de evaluar el Sistema Metropolitano BRT; respecto al sistema de buses convencionales permitiendo conocer, su eficiencia o ineficiencia de servicio, aplicando modelos matemáticos, y encuestas de percepción.

**Tabla 7**

*Esquema Ruta 1 Metropolitano BRT, Ruta 2 Buses convencionales o Línea T*









De igual modo, se ha elaborado un formato de medida de tiempos por tramo desde el origen hasta el destino para el caso de los buses convencionales de la línea T, donde igualmente la información se ha tomado registrando los tiempos en cada punto, en este caso desde el paradero Incas, el tiempo de duración por tramo se obtiene mediante la diferencia del registro final del tramo menos el registro inicial.

**Tabla 12**

*Formato para los tiempos por tramo desde el Origen hasta el Destino Línea T (ETUSA)*

FORMATO DE CALCULO DE TIEMPOS POR TRAMO DE CHORRILOS A LIMA LINEA "T" ETUSA (RUTA 2)										
FECHA	Salida de Casa	Llegada a Paradero	Salida Paradero Incas	Santa Anita	Barranco Av. Pedro de Osma	Miraflores 28 de Julio	Av. Del Ejercito	Salaverry con Av. Del Ejercito	Av. Javier Prado Salaverry	Paradero Final Estacion Central
						00:58	00:06		00:14	00:13

### **Confiabilidad del instrumento para medir la percepción de calidad del servicio**

Para obtener la percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio que brindan tanto el Sistema Metropolitano como los Buses Convencionales, se elaboró un cuestionario como instrumento de recojo de datos, dicho instrumento fue sometido mediante el programa SPSS versión 26 al Alfa de Cronbach, obteniendo un índice de 0,824 lo que significa que la confiabilidad del instrumento es buena.

**Tabla 13**

*Resumen de procesamiento de casos*

		N	%
Casos	Válido	120	100
	Excluido	0	0
	Total	120	100

**Tabla 14***Estadísticas de fiabilidad*

Alfa de Cronbach	Nº de elementos
0,824	24

**3.4.3. Técnicas de Procesamientos y análisis de datos**

a) **Técnicas de Análisis de Datos.** En este estudio se aplicaron las siguientes técnicas de análisis de datos:

- Tabulación de cantidades y aforos vehiculares BRT Metropolitano.
- Tabulación de cantidades y aforos vehiculares buses vehiculares.
- Tabulación de información y datos históricos.
- Evaluación de tendencias de los datos históricos.
- Interpretación de los datos históricos y tendencias.

b) **Técnicas de Procesamiento de Datos.** Clasificación de la información de campo

- Procesamiento manual
- Procesamiento computarizado en Excel y el programa SPSS versión 23.
- Corrida del programa Excel del primer principio de Wardrop, desarrollado por el autor.

**3.5 Procedimientos**

**3.5.1. Evaluación de la eficiencia del servicio, primer principio de Wardrop para el caso del presente estudio:**

**Figura 4**

Esquema de rutas Metropolitano ruta1, Línea T ruta2, utilizado para la aplicación del Primer Principio de Wardrop



**Valor del Tiempo de Viaje de los usuarios ruta 1**

$$T_1 = a + X_1 * FC_1 \dots\dots\dots 1$$

**Valor del Tiempo de Viaje de los usuarios ruta 2**

$$T_2 = b + X_2 * FC_2 \dots\dots\dots 2$$

Donde:

$T_1$  = Valor de tiempo utilizado por la ruta 1 en minutos.

$T_2$  = Valor de tiempo utilizado por la ruta 2 en minutos.

$X_1$  = Número de usuarios que se desplazan por la ruta 1.

$X_2$  = Número de usuarios que se desplazan por la ruta 2.

$a$  = Tiempo utilizado en condiciones de flujo libre por la ruta 1.

$b$  = Tiempo utilizado en condiciones de flujo libre por la ruta 2.

$FC_1$  = Factor de congestión por la ruta 1.

$FC_2$  = Factor de congestión por la ruta 2.

$N_c = X_1 + X_2$ , Número total de usuarios.

De las igualdades,  $T_1$  y  $T_2$ , se tiene a continuación el desarrollo y la operacionalización del primer principio de Wardrop.

Valor del tiempo de viaje de los usuarios ruta 1 BRT Metropolitano

$$T_1 = a + X_1 * Fc_1 \dots\dots\dots 1$$

Valor del tiempo de viaje de los usuarios ruta 2 Línea “T” Buses convencionales

$$T_2 = b + X_2 * Fc_2 \dots\dots\dots 2$$

Total, de usuarios que desplazan por la ruta 1 y 2

$$X_1 + X_2 = Nc \dots\dots\dots 3 \quad \text{donde: } X_2 = Nc - X_1$$

Los tiempos  $T_1$  y  $T_2$  son iguales, por el primer principio del Equilibrio de Wardrop por lo tanto se igualan las ecuaciones 1 y 2.

$$a + X_1 * Fc_1 = b + X_2 * Fc_2$$

Resolviendo las ecuaciones se obtiene el número de usuarios  $X_1$  y  $X_2$  de la ruta 1 y 2, respectivamente.

$$X_1 = \frac{b - a + Fc_2 * Nc}{Fc_1 + Fc_2}$$

$$X_2 = Nc - X_1$$

### 3.5.2. Evaluación de la eficiencia del servicio con la información de campo, cálculo de los datos de Entrada, “a” y “b”

Se ha levantado información de campo para la ruta 1 del Metropolitano, desde el Origen intersección Av. Alameda Sur con la Av. Los Incas, hasta el destino estación central, se ha calculado, el tiempo total que es igual al tiempo efectivo más el tiempo de las demoras por paradas forzadas en paraderos, en los semáforos, en las estaciones y por la congestión misma durante la ruta. Los tiempos “a” y “b”, representan los tiempos utilizados por los usuarios en condiciones de flujo libre, es decir sin demoras de ningún tipo, es un desplazamiento sin interrupciones, por tanto, el usuario se desplaza, con la velocidad máxima registrada, en este caso se toma la velocidad promedio, y la distancia promedio. Para el caso de la ruta 1 del Metropolitano se ha tomado información de campo desde la Intersección de la



Av. Los Incas - Alameda Sur, hasta la Estación Central, cuyo resumen se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 15**

*Resumen de Velocidades y Distancias rutas BRT Metropolitano*

<b>RESUMEN DE VELOCIDADES Y DISTANCIAS RUTAS METROPOLITANO</b>								
<b>Desde Intersección Av. Los Incas – Alameda Sur hasta Estación Central</b>								
Fecha	V. Min (K/h)	V. Media (K/h)	Máxima (K/h)	TIEMPO EFECTIVO	DEMORAS (Semaf+conges.+ paraderos+estac)	Tiempo Total Paradero Incas-Estac. Central	RUTA	DISTANCIA REGIS (Kms)
18-nov-19	0	34.39	53.58	00:32	00:23	00:55	B	18.47
29-nov-19	0	35.74	53.18	00:29	00:16	00:46	EXPRES 1	17.61
30-nov-19	0	26	53.45	00:38	00:11	00:50	C	18.00
<b>53.40</b>								<b>18.03</b>

El valor de “a” o el tiempo en minutos de flujo libre sin demoras que desarrolla un usuario, haciendo uso del Metropolitano, se calcula dividiendo distancia promedio registrada 18.03 Km. Entre la velocidad máxima promedio:

$$“a” = 18.03 \text{ Km} / 53.40 \text{ Km/h} = 20 \text{ min.}$$

**Tabla 16**

*Resumen de velocidades y distancias rutas Línea T (Buses Convencionales)*

<b>RESUMEN DE VELOCIDADES Y DISTANCIAS RUTAS LÍNEA T</b>								
<b>Desde Intersección. Av. Los Incas – Alameda Sur hasta Lima Cercado</b>								
Fecha	V.Min (K/h)	V.Medi a (K/h)	Máxima (K/h)	TIE MPO EFE CTI VO	DEMORAS (Semaf+con ges. + paraderos)	Tiempo Total Paradero Incas-Paradero. Final	RUTA	DISTANCIA A REGIS
09-nov-19	0	18	49	01:13	00:18	01:31	T	22.19
16-nov-19	0	20	54	01:09	00:34	01:43	T	22.77

51.5

22.48

El valor de “b” o el tiempo en minutos de flujo libre sin demoras que desarrolla un usuario, haciendo uso de los buses convencionales de la línea “T” o ETUSA, se calcula dividiendo distancia promedio registrada 22.48 Km entre la velocidad máxima promedio:

$$“b” = 22.48\text{Km}/51.5\text{Km/h} = 26 \text{ min.}$$

*a) Cálculo de los factores de congestión, “FC<sub>1</sub>” y “FC<sub>2</sub>”*

**Cálculo del FC<sub>1</sub>** El factor de congestión, es un valor numérico para este estudio, que mide la cantidad de usuarios que se desplazan en un minuto 1min/usuarios. Cabe indicar que en el principio de Wardrop, está planteado para vehículos, en este caso se ha realizado una adaptación para usuarios pasajeros, que están sujetos al congestionamiento del móvil en el cual se desplazan, en este caso pueden ser vehículos del BRT Metropolitano, o de los buses convencionales de la línea T. Para el cálculo del factor de congestión FC<sub>1</sub>, de los usuarios que se desplazan por la ruta del BRT Metropolitano se han realizado conteos de tráfico en horas punta en la Ruta 1 que está compuesta por dos sub tramos, el primer sub tramo que cubre el alimentador desde la intersección de la Av. Alameda Sur - Los Incas, hasta la Estación Matellini, y el segundo sub tramo, desde la estación Matellini, hasta la Estación Central.

A continuación, se indica el resumen de los cálculos, señalando la distancia por tramos, el número de buses del metropolitano por cada cuarto de hora producto del conteo y aforos de tráfico realizado para ambos tramos, la capacidad de las unidades por tramo en quince minutos, esta capacidad se considera para hora pico, el factor de congestión estará determinado por la cantidad de usuarios que se desplaza en 15 minutos, y luego cuántos se desplazan en un minuto, obteniéndose de este modo un valor, denominado factor de

congestión FC1, se procede igualmente para el tramo 2, como se muestra la siguiente tabla.

**Tabla 17**

*Resumen de cálculos del Factor del Congestión Ruta 1 (FC<sub>1</sub>) Metropolitano*

<b>CÁLCULO DEL FACTOR (FC1) DE CONGESTIÓN VÍAS CONGESTIONADAS PARA LA RUTA 1 METROPOLITANA (Para usuarios pasajeros)</b>						
<b>TRAMOS</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	<b>N° Buses Metr. Por cada 15 minutos</b>	<b>Capacidad Bus Metr (pasajeros)</b>	<b>FC1N° Usuarios en 15 minutos</b>	<b>FC1 (1Minu N° Usuarios)</b>
Tramo 1	Desde intersección Av. Los Incas. Av.	3.5	3.00	80 000	240	0.06250
	La Alameda de los Cedros hasta Estación Matellini					
Tramo 2	Desde Matellini hasta Estación Central	14	3.00	160 000	480	0.03125

De la tabla anterior, se ha obtenido un factor de congestión para el tramo 1, y otro para el tramo 2, toda vez que dicho factor de congestión es proporcional con la distancia, de cada tramo, por lo que para obtener el factor único se calcula utilizando la media armónica.

$FC_1 = (FC_{Tramo1} * D_{Tramo1} + FC_{Tramo2} * D_{Tramo2}) / (D_{Tramo1} + D_{Tramo2})$ , por lo tanto, reemplazando de la tabla se tiene:

$$FC_1 = 0.0375$$

Cabe indicar que este factor de congestión del BRT Metropolitano ruta 1, representa el factor de demoras de este servicio, en su propia ruta segregada, su propia infraestructura, con sus propias unidades, donde incluye las demoras en las estaciones intermedia y básicamente en las estaciones de los alimentadores.

**Cálculo del FC<sub>2</sub>** Para el cálculo, del factor de congestión FC<sub>2</sub>, de los usuarios que se desplazan por la ruta 2, buses convencionales, se han realizado conteos de tráfico en horas punta en la Ruta 2 que para este estudio es la Línea T, o ETUSA, la misma que consta de un tramo que cubre desde la intersección de la Av. Alameda Sur con la Av. Los Incas, hasta Lima- Cercado.

A continuación, se indica el resumen de los cálculos, señalando la distancia, el número de buses por cada cuarto de hora producto del conteo de tráfico realizado, la capacidad de las unidades por tramo en quince minutos, esta capacidad se considera para hora pico, luego se obtiene el factor de congestión de cuantos usuarios se desplazan en 15 minutos, y en un minuto cuántos se desplazan, obteniéndose de este modo el valor de congestión FC<sub>2</sub>, como se muestra el siguiente tabla.

**Tabla 18**

*Resumen de cálculos del Factor de Congestión. Ruta 2 Línea T*

<b>CÁLCULO DEL FACTOR (FC<sub>2</sub>) DE CONGESTIÓN VÍAS CONGESTIONADAS</b>						
<b>PARA LA RUTA 2 LÍNEA T (Para usuarios pasajeros)</b>						
TRAMOS	REFERENCIA	DISTANCIA (Km)	Nº Buses Metr. Por cada 15 minutos	Capacidad Bus Metr (pasajeros)	FC1Nº Usuarios en 15 minutos	FC1 (1Minu Nº Usuarios)
	Desde intersección Av.					
Tramo 1	Los Incas. Av. La Alameda de los Cedros Plaza Jorge Chávez	22.5	3.00	80 000	240	0.0625

De la tabla anterior, se ha obtenido un factor de congestión para la Ruta 2 que indica (1min/16usuarios) obteniéndose el valor de:

$$\mathbf{FC_2 = 0.0625.}$$

Luego de haberse obtenido los valores indicados, se establecen las expresiones de los valores del tiempo de viaje para la ruta 1 del Metropolitano y para la ruta 2 de los buses convencionales, dichas expresiones que podrían entenderse como ecuaciones de desplazamiento son las siguientes:

### **Expresiones de los Valores del Tiempo de Viaje**

*(Valor del Tiempo de Viaje Total de los usuarios ruta 1 BRT Metropolitano)*

$$T_1 = 20 + 0.0375 X_1$$

*(Valor del Tiempo de viaje Total de los usuarios ruta 2 Buses)*

$$T_2 = 26 + 0.0625 X_2$$

Las expresiones anteriores que indican los valores totales del tiempo de viaje de los usuarios del BRT Metropolitano y de los buses convencionales se pueden interpretar de la siguiente manera:

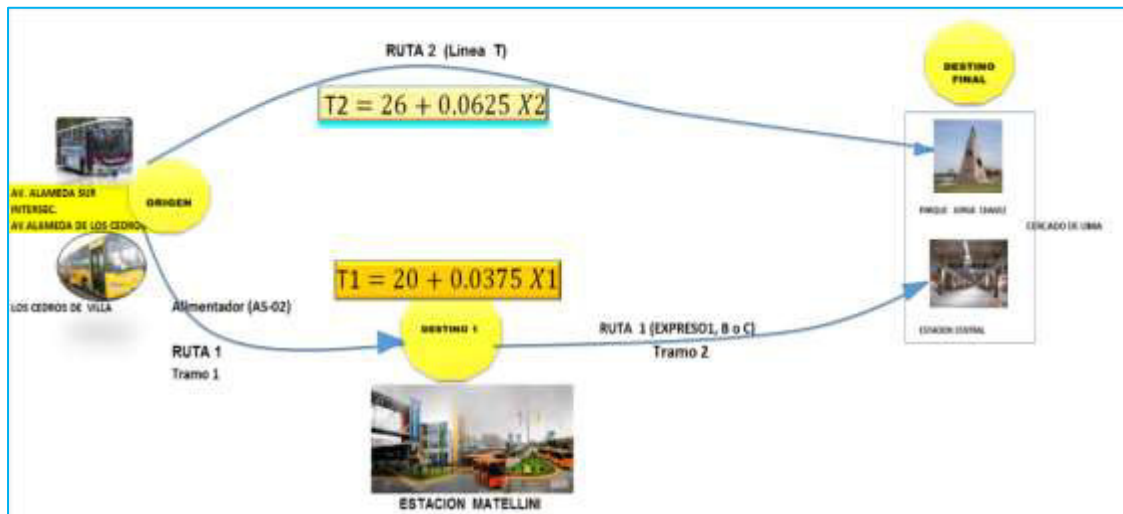
El tiempo  $T_1$ , es el tiempo total de viaje o desplazamiento de los usuarios de la Ruta 1, que hacen uso del Metropolitano desde el origen hasta el destino luego el valor de 20 representa al tiempo de 20 min. que es el tiempo que se demora cubrir la citada ruta en flujo libre sin interferencias; el valor 0.0375 es el factor de congestión, que multiplicado por el número de usuarios ( $X_1$ ) es el tiempo de demora en la ruta, siendo el total de tiempo de viaje  $T_1$ , el tiempo en flujo libre más el tiempo de la demora. *Ver figura 7.*

El tiempo  $T_2$ , es el tiempo total de desplazamiento de los usuarios de la Ruta 2, que hacen uso de los buses convencionales (línea T o ETUSA) desde el origen hasta destino, el centro de Lima Cercado, es igual 26min que es el tiempo que se demora en flujo libre sin interferencias, el valor 0.0625 es el factor de congestión, que multiplicado por el número de

usuarios ( $X_2$ ). es el tiempo de demora en la ruta, siendo el total de tiempo de viaje  $T_1$ , el tiempo en flujo libre más el tiempo de la demora. Ver figura 7

### Figura 5

Figura mostrando las expresiones de los tiempos de Viaje Ruta 1 Metropolitano y Ruta 2, línea T de Buses Convencionales



En el figura se muestran, las expresiones de los tiempos totales para ambas rutas, Ruta 1 (Metropolitano) y Ruta2 (buses convencionales), analizando los coeficientes de dichas ecuaciones, el tiempo  $T_1$ , resulta más rápido, que  $T_2$ , ya que  $20 < 26$  y  $0.0375 < 0.0625$ , por tanto, evaluando según el primer principio de Wardrop se tiene lo siguiente: Inicialmente todos los usuarios van a decidir desplazarse, por la ruta 1, por ser la más rápida, a medida que esta se va congestionando, habrá otros usuarios que decidirán ir por la ruta 2, hasta alcanzar un tiempo de equilibrio, donde a los usuarios les va a dar igual desplazarse, en el Metropolitano ruta 1, o en los buses convencionales ruta 2, situación que no es conveniente, ya que el Metropolitano dejaría de tener la eficiencia como mejor alternativa de transporte respecto a los buses convencionales. Para ello se va evaluar y simular el desplazamiento de

los usuarios en hora punta, para ambos sistemas, asignando los usuarios primeramente por la ruta más rápida hasta el equilibrio.

### **3.6. Análisis de datos**

El análisis de datos se llevó a cabo con los valores que se obtuvieron mediante la aplicación de los instrumentos de investigación elaborados para medir ambas variables, la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT y la eficiencia del Sistema de Buses Convencionales, procesándose los resultados de la siguiente manera:

- a) Luego de someter al juicio de expertos y haber obtenido su validez y confiabilidad, el instrumento se aplicó a 314 usuarios del Sistema Metropolitano como también a 380 usuarios de Buses convencionales, con los resultados obtenidos se elaboró una base de datos utilizando el software Excel 2016.
- b) El procesamiento estadístico de los datos fue representado mediante tablas de frecuencias absolutas y porcentuales y figuras estadísticas, facilitando su descripción e interpretación en forma muy didáctica para su mejor comprensión.
- c) En el tratamiento de los resultados se tomó en cuenta la estadística descriptiva para la interpretación de las tablas de frecuencia y de las diferentes figuras; asimismo, la estadística inferencial para el análisis de las tablas de contingencias tanto de la hipótesis general como de las específicas, concluyéndose con la elaboración de una tabla de simulación del Principio de Wardrop tanto para la ruta 1 del Metropolitano como también de la ruta 2 de la línea T o buses convencionales en diferentes escenarios mostrándose la variación hasta alcanzar el tiempo de equilibrio, es decir, la demostración del primer principio de Wardrop.

### 3.7 Consideraciones éticas

Yo, Antero Milian Díaz, estudiante de la Escuela Universitaria de Posgrado, Maestro en Transportes, de la Universidad Federico Villarreal; declaro que el trabajo académico titulado “Evaluación de la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte (B.R.T.) respecto al sistema de buses convencionales aplicando el Principio de Wardrop” presentada, en 149 folios para la obtención del grado académico de Maestro en Transportes, es de mi autoría.

Por tanto, declaro lo siguiente: He mencionado todas las fuentes empleadas en el presente trabajo de investigación, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes, de acuerdo con lo establecido por las normas de elaboración de trabajos académicos. No he utilizado ninguna otra fuente distinta de aquellas expresamente señaladas en este trabajo. Este trabajo de investigación no ha sido previamente presentado completa ni parcialmente para la obtención de otro grado académico o título profesional. Soy consciente de que mi trabajo puede ser revisado electrónicamente en búsqueda de plagios; de encontrar uso de material intelectual ajeno sin el debido reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinen el procedimiento disciplinario.

Lima, Agosto de 2023

.....

Antero Milian Díaz



## IV. RESULTADOS

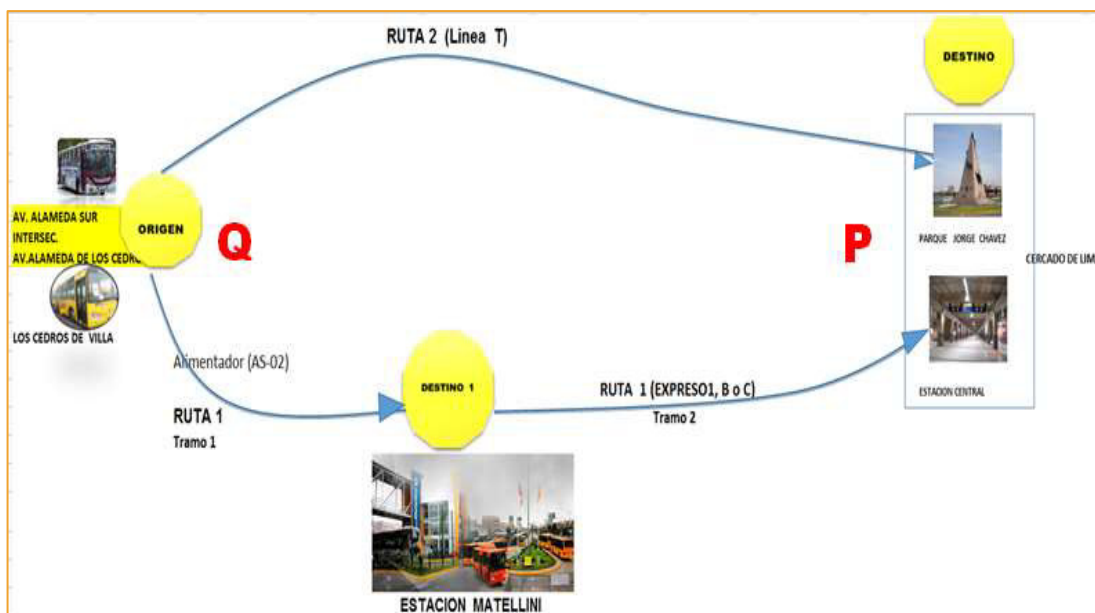
### 4.1. Análisis Situacional

Los resultados estadísticos de esta investigación se presentan en dos partes, la primera corresponde a la estadística descriptiva donde se analizan los resultados utilizando tablas y figuras estadísticas resultantes de la aplicación de los instrumentos de recojo de datos a los usuarios del Metropolitano como también a los usuarios de los buses convencionales y la segunda parte corresponde a la estadística inferencial donde se analizan tanto la hipótesis general como las hipótesis específicas.

La Ruta 1 del BRT Metropolitano considera dos tramos, el primero desde la intersección de la Av. Alameda Sur, Av. Los Incas - Alameda de los Cedros (Q = origen) hasta la estación Matellini, y el segundo desde la estación Matellini hasta la estación Central o el Cercado de Lima. (P = destino). La Ruta 2, considera el recorrido en un solo tramo desde el mismo origen, Av. Alameda Sur, Av. Los Incas - Alameda de los Cedros (Q = origen) hasta el Cercado de Lima (P = destino) ver figura 15.

### Figura 6

*Rutas 1 y 2, origen y destino comunes área de influencia del Estudio*



Del Estudio de tráfico realizado mediante aforos en horas punta, en la estación Los Incas, el punto de origen común en este estudio, se ha determinado que circulan 12 unidades de la Línea T, y 8 unidades del alimentador del BRT Metropolitano, en esta hora pico, todas las unidades pasan con mayor frecuencia y en su máxima capacidad.

**Tabla 19**

*Resumen de aforo, en hora pico, y usuarios del Metropolitano y de los buses de la Línea T.*

<b>TIPO DE UNIDAD</b>	<b>N° UNIDADES H.P.</b>	<b>CAPAC. MAX. EN H.P.</b>	<b>N° Usuarios H.P.</b>
BUSES LÍNEA T (Buses Convencionales)	12	80	960
BRT METROPOLITANO.	8	80	640
			<b>1600</b>

#### **4.2. Datos de los grupos de investigación por dimensiones**

##### **4.2.1. Primera dimensión: Tiempo de viaje o de traslado de los usuarios del Metropolitano y de los Buses convencionales**

Haciendo uso de las tablas de recolección de datos de los tiempos de viaje del Metropolitano, se han tomado los tiempos históricos de los años 2018, 2019 y 2020, por tramos 1 y 2, en los meses y fechas que se indican en la siguiente tabla de resumen de tiempos de viaje en minutos, en la Ruta 1 del Metropolitano; el Tramo 1 es desarrollado en el alimentador (AS-02) desde el Origen, (Intersección de la Av. Alameda Sur con la Av. Alameda de Los Cedros) hasta la Estación Matellini; luego el empalme o conexión que considera el tiempo de caminata y espera hasta abordar el Expreso 1, seguidamente se desarrolla el Tramo 2, desde la Estación Matellini pasando por todas las estaciones del expreso 1 el más rápido de todos, hasta llegar al destino final que es la Estación Central. Si

se observa la tabla 20, el **Tiempo Total** es el tiempo de viaje del primer tramo, más el tiempo de empalme, (caminata más la espera del expreso 1) y todo el tiempo que demanda el segundo tramo.

**Tabla 20**

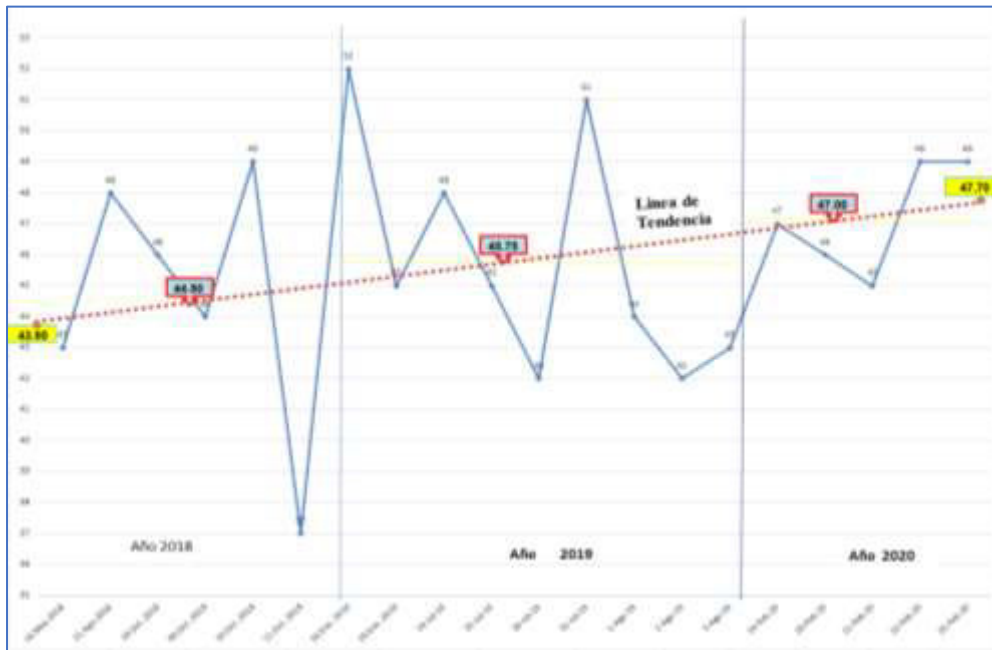
*Resumen histórico de los Tiempos de Viaje de la Ruta1 del Metropolitano (Alimentador-Tramo 1 y Expreso 1- Tramo 2)*

FECHA	Tramo 1 Tiempo desde (Inter. Av. Alam.Sur Alam. Los Cedros- Est.MATELLINI)	T.TOTAL 1 TRAMO	EMPALME (camin+espera Exp.1)	RUTA	Tramo2: MATELLINI- ESTAC. CENTRAL	T.TOTAL 2TRAMO	TIEMPO TOTAL
16.May.2018	00:11	00:11	00:04	EXPRESO 1	00:28	00:32	00:43
21.Ago.2018	00:16	00:16	00:02	EXPRESO 1	00:30	00:32	00:48
19.Set. 2018	00:15	00:15	00:02	EXPRESO 1	00:29	00:31	00:46
09.Oct. 2018	00:10	00:10	00:05	EXPRESO 1	00:29	00:34	00:44
10.Oct. 2018	00:15	00:15	00:04	EXPRESO 1	00:30	00:34	00:49
11.Oct. 2018	00:14	00:14	00:00	EXPRESO 1	00:23	00:23	00:37
16.Ene. 2019	00:11	00:11	00:04	EXPRESO 1	00:37	00:41	00:52
19.Ene. 2019	00:16	00:16	00:01	EXPRESO 1	00:28	00:29	00:45
24-Jul-19	00:17	00:17	00:02	EXPRESO 1	00:29	00:31	00:48
25-Jul-19	00:16	00:16	00:03	EXPRESO 1	00:26	00:29	00:45
26-Jul-19	00:11	00:11	00:02	EXPRESO 1	00:29	00:31	00:42
31-Jul-19	00:10	00:10	00:06	EXPRESO 1	00:35	00:41	00:51
1-Ago-19	00:14	00:14	00:02	EXPRESO 1	00:28	00:30	00:44
2-Ago-19	00:11	00:11	00:06	EXPRESO 1	00:25	00:31	00:42
3-Ago-19	00:14	00:14	00:03	EXPRESO 1	00:26	00:29	00:43
19-Feb-20	00:13	00:13	00:07	EXPRESO 1	00:28	00:35	00:48
20-Feb-20	00:12	00:12	00:06	EXPRESO 1	00:28	00:34	00:46
21-Feb-20	00:12	00:12	00:04	EXPRESO 1	00:29	00:33	00:45
22-Feb-20	00:16	00:16	00:05	EXPRESO 1	00:28	00:33	00:49
25-Feb-20	00:14	00:14	00:04	EXPRESO 1	00:31	00:35	00:49

Los Tiempos Totales, de los años 2018, 2019 y 2020, de la última columna de la tabla se ha llevado a una figura de tendencias como el que seguidamente se muestra; donde se aprecia la línea de tendencia positiva, lo que da a entender que los tiempos de viaje en el Metropolitano, si bien son erráticos, suben y bajan la línea de tendencia promedio, tiende ligeramente a subir, en el mejor servicio que tiene el Metropolitano como es el Expreso 1.

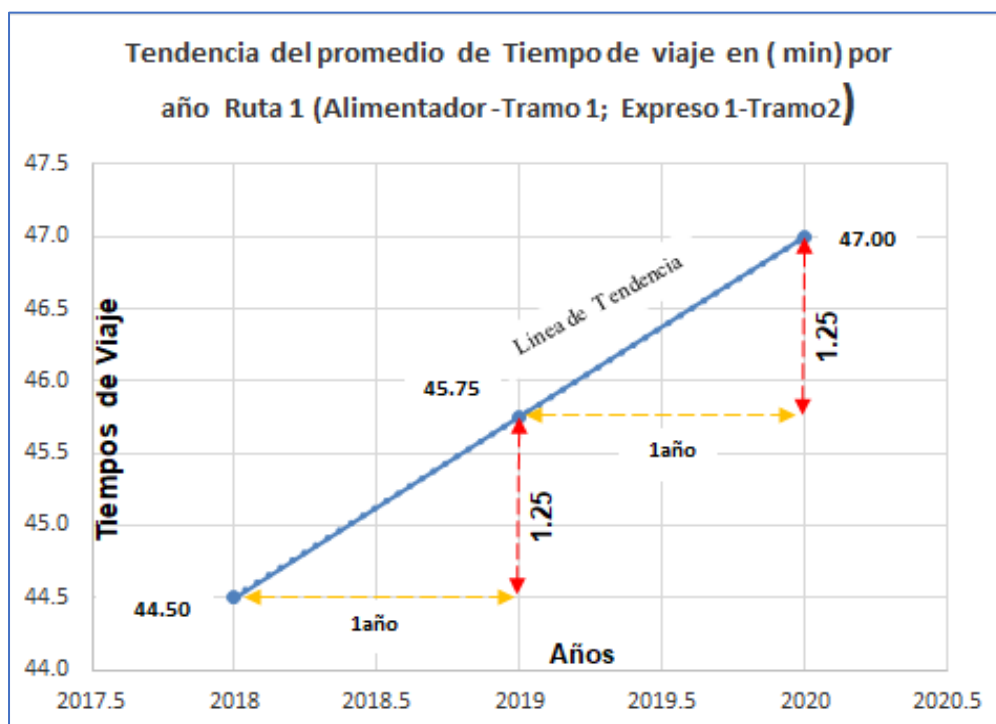
**Figura 7**

*Tendencia histórica del tiempo de viaje del Metropolitano Ruta 1 (Alimentador- Tramo 1 y Expreso 1- Tramo 2)*



**Figura 8**

*Tendencia del promedio del tiempo de viaje del Metropolitano ruta1 (Alimentador y Expreso 1)*



**Tabla 21**

*Tiempos de viaje registrados de la Línea Truta 2 (Buses Convencionales)*

FECHA	Salida de Casa	Llegada a Paradero	Salida Paradero Incas	Santa Anita	Barranco Av. Pedro de Osma	Miraflores 28 de Julio	Av. Del Ejercito	Salaverry con Av. Del Ejercito	Av. Javier Prado Salaverry	Paradero Final Estacion Central Jorge Chavez	TOTAL
07/08/2018	08:16	08:20	08:30	08:39	08:59	09:11	09:23	09:29	09:34	10:00	
				00:09	00:20	00:12	00:12	00:06	00:05	00:26	01:30
09/11/2018	10:04	10:07	10:09	00:00	00:00	11:07	11:13	00:00	11:27	11:40	
						00:58	00:06		00:14	00:13	01:31
16/09/2018				00:00	00:00	00:50	00:15	00:10	00:09	00:19	01:43
<b>PROMEDIO</b>											<b>01:34</b>

#### **4.2.2. Segunda dimensión: Percepción de la calidad de servicios de los usuarios del Metropolitano y de los Buses convencionales**

Para elaborar una tabla de frecuencias con datos agrupados, se formuló el siguiente baremo que indican los rangos por niveles de satisfacción:

**Tabla 22**

*Baremo. Niveles de satisfacción con datos agrupados por rangos*

N°	NIVELES	V1D2	V2D2
1	Nada satisfecho	12 - 21	12 - 21
2	Poco satisfecho	22 - 31	22 - 31
3	Medio satisfecho	32 - 40	32 - 40
4	Muy satisfecho	41 - 50	41 - 50
5	Totalmente satisfecho	51 - 60	51 - 60

## Prueba de normalidad

**Tabla 23**

*Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra*

		Percepción de la calidad de servicio del Sistema Metropolitano	Percepción de la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales
N		120	120
Parámetros	Media	38,73	27,41
normales <sup>a, b</sup>	Desviación estándar	6,357	5,435
Máximas	Absoluta	0,125	0,207
diferencias	Positivo	0,125	0,131
extremas	Negativo	-0,112	-0,207
Estadístico de prueba		0,125	0,207
Sig. asintótica (bilateral)		0,000 <sup>c</sup>	0,000 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

Para obtener la normalidad se ha utilizado la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (K-S) porque la muestra está conformada por 240 participantes. En la tabla 23 se presentan los resultados de la prueba de normalidad de las variables *percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano* y *percepción sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales*, se observan que los resultados no se aproximan a una distribución normal, es decir, son no paramétricos ya que los coeficientes obtenidos en la Sig. Asintótica (bilateral) son significativos ( $p < 0,05$ ); por tanto, la segunda

prueba de hipótesis específica se realizaron con el estadístico Chi Cuadrado por ser cuantitativo, ordinal y no paramétrico.

**Tabla 24**

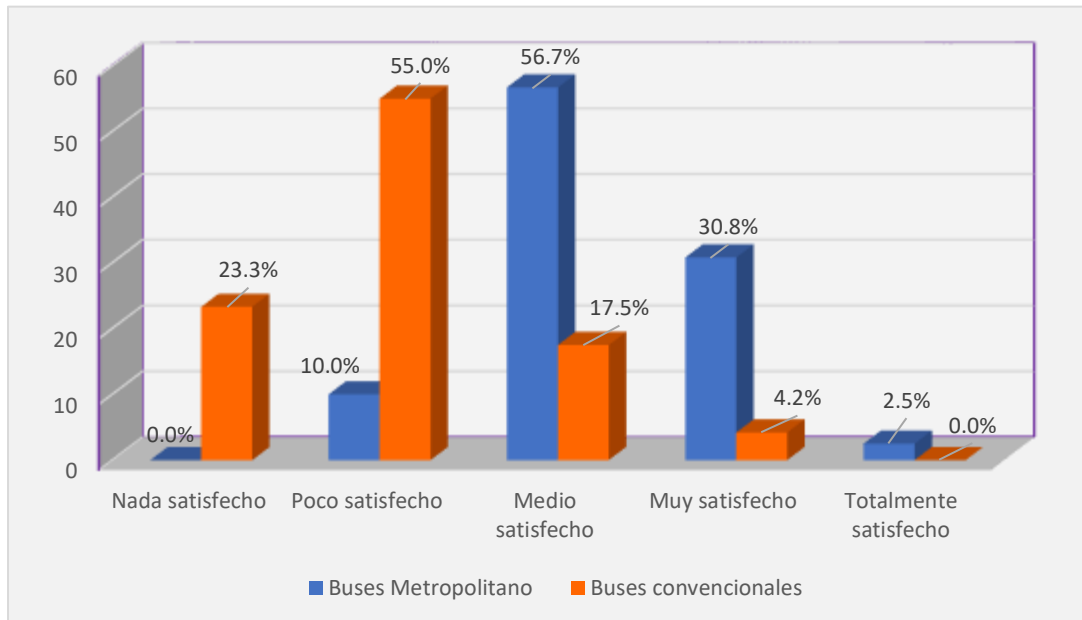
*Tabla de frecuencias según nivel de percepción de la calidad de servicios del Sistema Metropolitano y de los buses convencionales durante el trayecto de Chorrillos a Lima.*

Niveles de satisfacción	Buses del Metropolitano		Buses Convencionales	
	Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Nada satisfecho	0	0,0	28	23,3
Poco satisfecho	12	10,0	66	55,0
Medio satisfecho	68	56,7	21	17,5
Muy satisfecho	37	30,8	5	4,2
Totalmente satisfecho	3	2,5	0	0,0
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>100,0</b>	<b>120</b>	<b>100,0</b>

Observando la tabla 24, se tiene que de 120 usuarios de la línea metropolitana que participaron en la investigación, el 56,7%, es decir, la mayoría afirman que se sienten medio satisfecho con el servicio que presta el metropolitano, mientras que el 30,8% afirman sentirse muy satisfecho y solo el 2,5% se sienten completamente satisfecho; por otra parte, en cuanto se refiere a los usuarios de los buses convencionales, el 78,3% se sienten nada satisfecho o poco satisfecho con la calidad del servicio, así mismo, solo el 4,2% manifiestan sentirse muy satisfecho con el servicio que prestan los buses convencionales. Podemos concluir que los usuarios de los buses convencionales, a pesar de no sentirse satisfechos los utiliza por el bajo costo de los pasajes y no formar largas filas para abordarlos como en el caso de los buses del metropolitano.

**Figura 9**

*Percepción de la calidad de servicios de los buses del Sistema Metropolitano y de los buses convencionales*



#### ***4.2.3. Tercera dimensión: Tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Metropolitano y de los Buses convencionales, según el primer principio de Wardrop***

En la siguiente tabla 25 de datos, se simula el primer principio de Wardrop, o “principio de equilibrio del usuario”, con 1600 usuarios, los cuales serán asignados de la forma como se explica más adelante: Se cuenta con las expresiones o ecuaciones de tiempos totales de viaje, para ambas rutas;  $T_1$  y  $T_2$ .



**Tabla 25**

Tabla de simulación del Principio de Wardrop para el Metropolitano y la línea T, en diferentes escenarios mostrándose la variación de los tiempos conforme varían los usuarios hasta alcanzar el tiempo de equilibrio.

$T1 = 20 + 0.0375 X1$					$T2 = 26 + 0.0625 X2$				
RUTA 1 (METROPOLITANO)					RUTA 2 (ETUSA LINEA T)				
Q	a	X1	FC1	T1= a+ X1*Fc1	Q	b	X2	FC2	T2=b+ X1*Fc1
1600									
1	20	1600	0.03750	80.0	1	26	0	0.0625	26.0
2	20	1500	0.03750	76.3	2	26	100	0.0625	32.3
3	20	1400	0.03750	72.5	3	26	200	0.0625	38.5
4	20	1300	0.03750	68.8	4	26	300	0.0625	44.8
5	20	1200	0.03750	65.0	5	26	400	0.0625	51.0
6	20	1100	0.03750	61.3	6	26	500	0.0625	57.3
7	20	1080	0.03750	60.5	7	26	520	0.0625	58.5
8	20	1060	0.03750	59.8	8	26	540	0.0625	59.8
9	20	1000	0.03750	57.5	9	26	600	0.0625	63.5
10	20	900	0.03750	53.8	10	26	700	0.0625	69.8
11	20	800	0.03750	50.0	11	26	800	0.0625	76.0
12	20	500	0.03750	38.8	12	26	1100	0.0625	94.8
13	20	250	0.03750	29.4	13	26	1350	0.0625	110.4
14	20	0	0.03750	20.0	14	26	1600	0.0625	126.0

La tabla 25 permite aplicar el Primer principio de Wardrop, en forma manual y la Tabla 27 en forma automatizada con los siguientes datos:

**Datos de Ingreso:**

Nc = Número Total de usuarios =1600

a = Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 1=20 min

b =Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 2=26 min

FC1= factor de congestión por la ruta 1= 0.0375

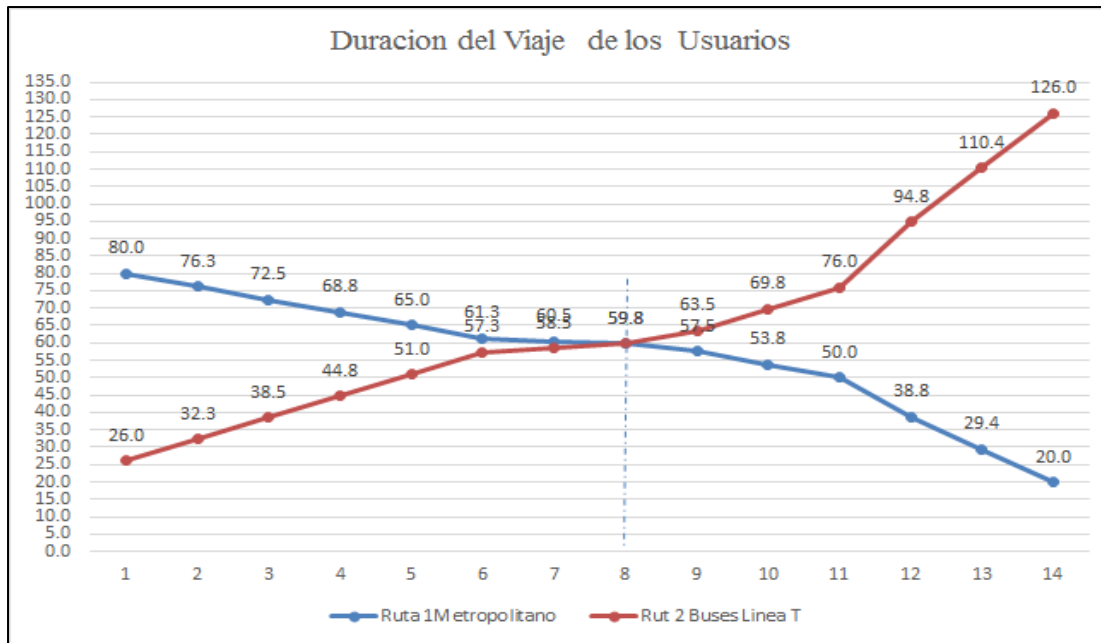
FC2= factor de congestión por la ruta 2=0.0625

Se han tabulado los valores del tiempo de viaje o desplazamiento en las expresiones o ecuaciones para la ruta 1 del Metropolitano y la ruta 2 de los buses convencionales, asignando los 1600 usuarios de acuerdo al primer principio de Wardrop.

Se entiende que la ruta 1 es la más rápida,  $a < b$ , es decir,  $20 < 26$ , por lo que inicialmente (Escenario1), todos los usuarios (1600), eligen viajar por la ruta 1 del Metropolitano, experimentando un tiempo de viajes de 80 min. En el (escenario 2), eligen ir por la ruta 1 (1500), algunos (100) eligen la ruta 2, con un tiempo de viaje por la ruta 1, de 76.30 min. y 32.30 min por la ruta 2. En el (escenario 3), 1400 usuarios deciden ir por la ruta 1, y 200 usuarios deciden ir por la ruta 2, con un tiempo de viaje, en la ruta 1, de 72.50 min. y 38.50 min por la ruta 2. En el (escenario 4), 1300 usuarios eligen viajar por la ruta 1, y 300 usuarios deciden viajar por la ruta 2, con un tiempo de viaje, en la ruta 1, de 68.80 min. y 44.80 min por la ruta 2. Y así sucesivamente, como se muestra en las tablas, los usuarios, tiende a migrar de la ruta 1 a la ruta 2, hasta, que los tiempos de desplazamiento son iguales, donde a cualquier usuario le va dar igual, ir por la ruta 1 del Metropolitano, o ir por la ruta 2 de los buses convencionales de la línea T, ese **tiempo es de 59.80 min**, ocurre cuando el 33.75%, de los usuarios del Metropolitano han migrado a los buses convencionales, esta situación, es la que no se quiere llegar, porque la razón del Metropolitano es de ser más eficiente en tiempos de desplazamiento que los buses convencionales. Cualquier usuario que desea cambiar de ruta a partir de este tiempo de equilibrio experimentará un tiempo mayor según las figuras.

**Figura 10**

*Variación de los tiempos de viaje de los usuarios del Metropolitano y de la Línea T, obsérvese el tiempo de equilibrio según Wardrop según simulación.*

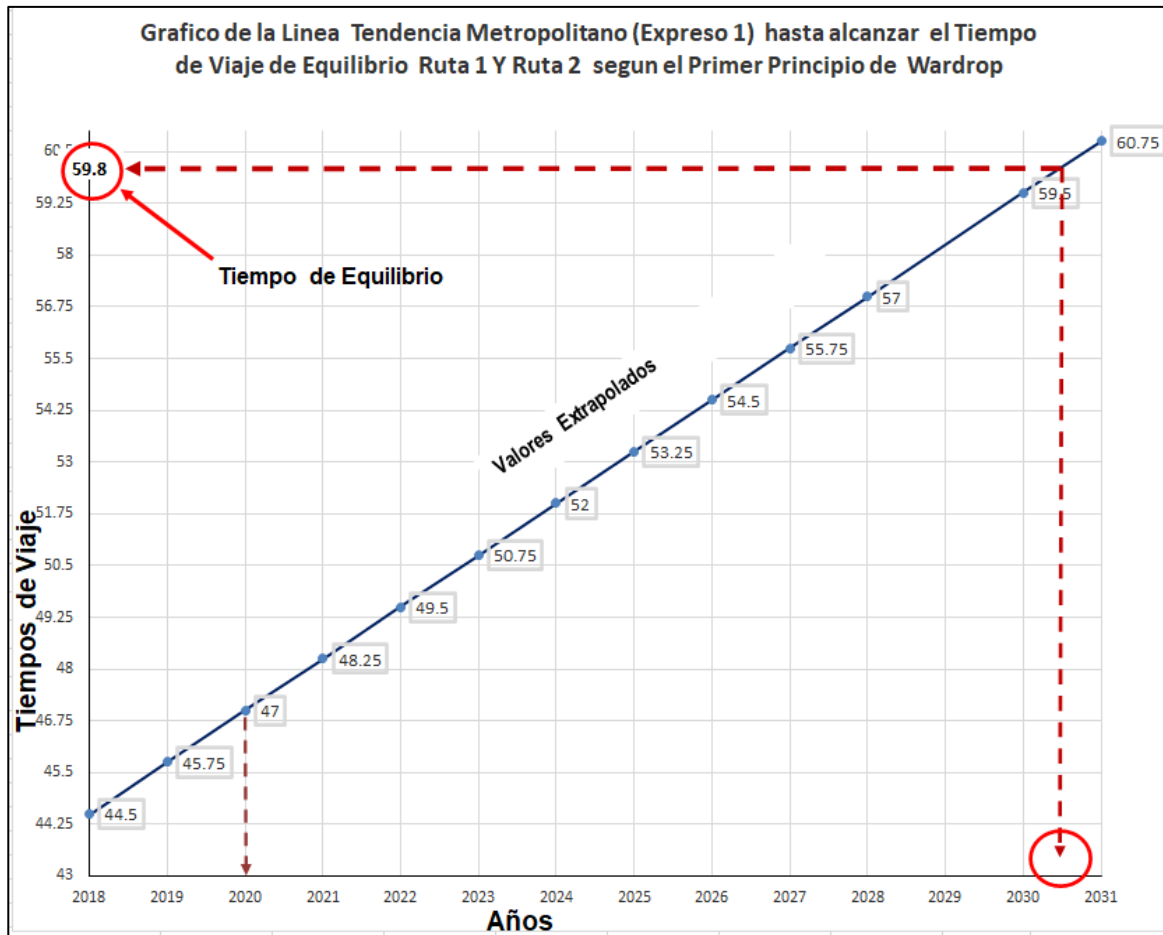


De la figura 10 de la variación de tiempo de viaje se observa en la modelación o simulación lo siguiente: como inicialmente todos los usuarios, van por la ruta 1 del Metropolitano porque es atractiva y más rápida, sufren congestión, por ello los tiempos de viaje altos, pero a medida que se va congestionando hay usuarios que migran hacia la ruta 2 de los buses de la línea T, hasta alcanzar el tiempo de viaje de equilibrio en este caso 59.8 min. “Los tiempos de viaje en ambas rutas es igual, y menor al tiempo que experimentaría cualquier usuario que decidiera cambiarse a otra ruta”. Cualquier usuario que intenta cambiarse de ruta a partir de este tiempo de equilibrio experimentaría un tiempo mayor como se observa en la figura.

### 4.3. Datos por grupos de investigación de las variables Eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte y del Sistema de Buses Convencionales.

**Figura 11**

*Línea de tendencia del expreso1 del Metropolitano hasta alcanzar el tiempo de Equilibrio.*



En la figura 13, haciendo una extrapolación hasta encontrar el tiempo de equilibrio **59.8 min**; calculado mediante el primer principio de Wardrop, se observa que dicho valor se intercepta en el año 2030, es decir dentro de 10 años; año en el cual en términos de tiempos de viaje a cualquier usuario le resultará, igual ir en bus tradicional o en el Metropolitano en el servicio más rápido que es el servicio de Expreso1. Esta situación es poco deseada, tal vez inesperada, pero la tendencia así lo indica, toda vez que este tipo de servicio por la gran acogida y demanda, tiende a congestionarse, como ya viene ocurriendo, con los otros

servicios del Metropolitano, A, B y C, que es muy probable que, en un tiempo muchos más corto, o en la actualidad ya esté sucediendo.

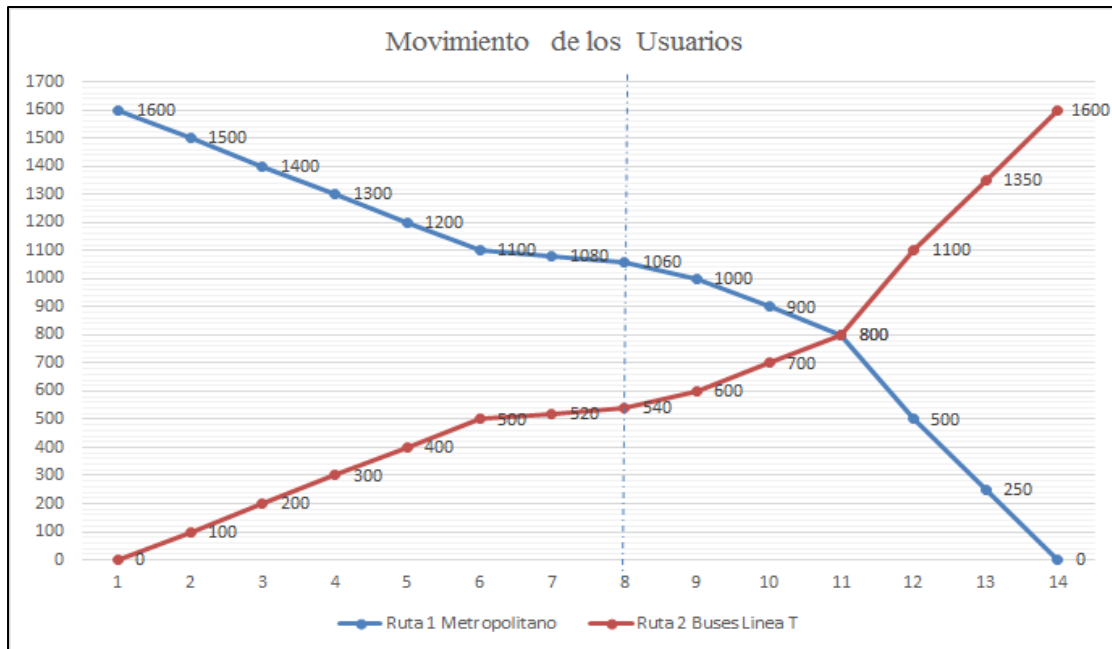
Según la línea de tendencia (Expreso 1), el tiempo de viaje aumenta, 1.25 minutos por año. El tiempo de Viaje de Equilibrio según el primer principio de Wardrop para ambas rutas es de 59.8 min. siguiendo esta tendencia, el Metropolitano alcanzará dicho tiempo de equilibrio dentro de siete años, en el año 2030. Cabe indicar que este análisis se ha realizado con el mejor servicio del Metropolitano, el Expreso 1, en los demás servicios A, B y C del Metropolitano, el tiempo podría ser menor, o tal vez esté ocurriendo, ya que observa grandes congestiones en las estaciones principales e intermedias.

El aporte de este estudio es muy valioso para evaluar dos servicios de transporte, cuando se trata del mismo origen y destino en rutas diferentes, siempre uno de los servicios al inicio va a ser mejor que el otro, y con el tiempo, por la gran acogida del mejor se van a igualar, por su carácter predictivo va a permitir adelantarse a los hechos a fin de tomar medidas de previsión antes que ello ocurra, como en el presente caso. Si en diez años el mejor servicio el más eficiente del Metropolitano que es el Expreso 1, se igualará al servicio que brindara el servicio de buses convencionales en este caso la línea T, y en un periodo más corto es muy posible que ya esté pasando con las rutas A, B, y C, servicios más lentos y menos eficiente; pero antes que ello ocurra, se deberá tomar las siguientes medidas de previsión: Desalentar, las preferencias de los usuarios por el uso del Metropolitano, incrementando un tanto los pasajes. Corregir, los tiempos de demora que ocurren, en las estaciones, básicamente en las estaciones de enlaces con los alimentadores donde los tiempos de espera son muy prolongados, mejorar la infraestructura. También se debe mejorar, el servicio de los buses convencionales en este caso la línea ETUSA o línea T, implementado cobranza automatizada, dotando de mejores choferes a sueldo, para evitar la “guerra del

centavo”, es decir, implementar los corredores viales, para fomentar el sistema integrado de transportes, SIT, así tener otros servicios parecidos al BRT Metropolitano.

**Figura 12**

*Movimiento de los usuarios, Ruta 1 Metropolitano Ruta 2 buses Línea T*



#### 4.4. Estrategia de la prueba de hipótesis

En el presente trabajo de investigación se ha formulado una hipótesis general y tres hipótesis específicas. Toda vez que la hipótesis general está subdividida y ligada a las hipótesis específicas, esta será probada a partir de la evaluación y prueba de las tres hipótesis específicas.

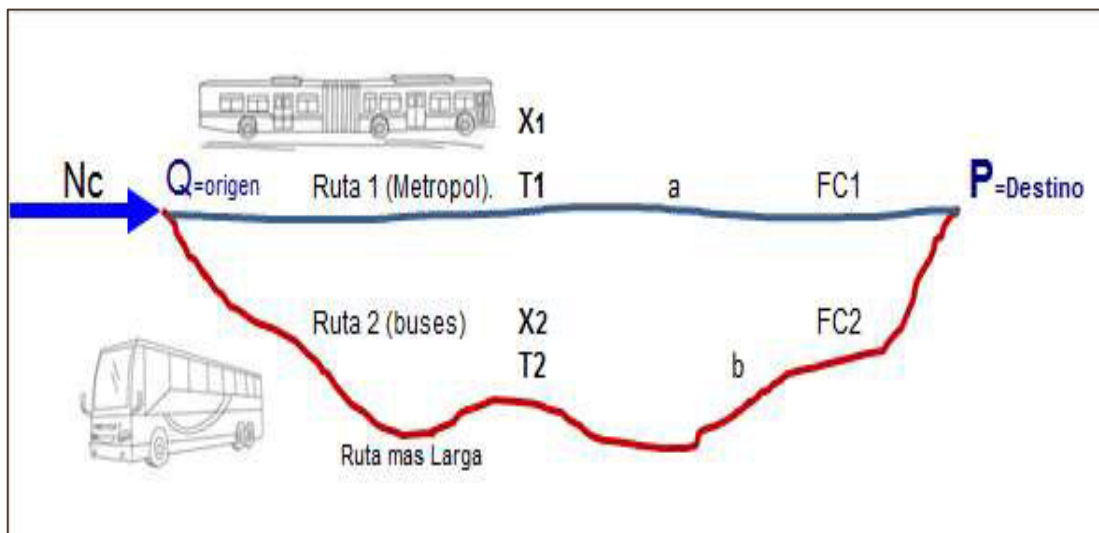
##### 4.4.1. Primera hipótesis específica

Evaluando el recorrido de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, desde Chorrillos a Lima es posible conocer la eficiencia del tiempo de viaje o de traslado. Siguiendo el procedimiento de prueba de hipótesis para una muestra, previamente se plantea

la prueba de la primera hipótesis específica:” La *eficiencia del tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima*”.

### Figura 13

Figura de las Rutas 1 y 2, con origen y destinos comunes



Al evaluar los recorridos de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT, por la Ruta 1, desde el origen Q (Chorrillos) al destino P (Lima), y a su vez, del Sistema de buses convencionales, fue posible conocer la eficiencia del tiempo de viaje o de traslado de cada uno de los sistemas de transporte, se evaluó el tiempo total de traslado que se ha denominado  $T_1$  para la ruta 1 y  $T_2$  para la ruta 2, se considera el tiempo en flujo libre y el tiempo de las demoras, como se observa en el figura, con los siguientes indicadores:

$a$  = Valor del tiempo de viaje en condiciones de flujo libre por la ruta 1.

$b$  = Valor del tiempo de viaje en condiciones de flujo libre por la ruta 2.

$FC_1$  y  $FC_2$  = Factor de congestión por las Rutas 1 y 2, es un factor que representa la demora de un minuto por cada cierta cantidad de unidades (min/unid).

$X_1$  y  $X_2$  = Número de usuarios de las rutas 1 y 2, respectivamente.

$FC_1 * X_1$  = Valor del tiempo de viaje en flujo congestionado de los usuarios de la ruta 1

$FC_2 * X_2$  = Valor del tiempo de viaje en flujo congestionado de los usuarios de la ruta 2

La eficiencia del tiempo de viaje total o de traslado; es igual al tiempo que experimentan los usuarios del Metropolitano o de los buses convencionales, en flujo libre, más el tiempo en congestión.

$T_1 = (\text{Tiempo en flujo libre}) + (\text{Tiempo en congestión})$

$$T_1 = a + FC_1 \cdot X_1$$

Eficiencia del tiempo de viaje por la ruta 1

$T_2 = (\text{Tiempo en flujo libre}) + (\text{Tiempo en congestión})$

$$T_2 = b + FC_2 \cdot X_2$$

Eficiencia del tiempo de viaje por la ruta 2

Estas expresiones o ecuaciones permitieron alcanzar el tiempo de viaje de equilibrio, que en este caso fue de 59.8 min. que se alcanzará en un promedio de 10 años a un promedio de 1.25 minutos por año, con ello será igual viajar por cualquiera de las dos rutas, esta investigación permite tomar las precauciones debidas y a su debido tiempo para que ello no ocurra. Cualquier usuario que intenta cambiarse de ruta a partir de este tiempo de equilibrio experimentaría un tiempo mayor.

#### 4.4.2. *Contrastación de la segunda hipótesis específica*

A continuación, se contrastó la hipótesis nula y alterna mediante el estadístico Chi cuadrado, que es una prueba no paramétrica de independencia, busca una asociación entre dos variables categóricas dentro de una misma población.



H<sub>0</sub>: La percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, no permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

H<sub>a</sub>: La percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

Se trabajó con un nivel de confianza de investigación del 95%, siendo:  $1 - \alpha = 0.95$ , donde  $\alpha = 0,05$ .

Regla de decisión:

Si  $p \geq \alpha$  se acepta la hipótesis nula

Si  $p < \alpha$  se rechaza la hipótesis nula

Test estadístico: Prueba de Chi Cuadrado

**Tabla 26**

*Estadísticos de prueba: Chi cuadrado*

	Percepción de la calidad de servicio del Sistema Metropolitano	Percepción de la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales
Chi-cuadrado	86,067 <sup>a</sup>	46,317 <sup>b</sup>
Gl	21	16
Sig. asintótica	0,000	0,000

a. 0 casillas (0,0%) han esperado frecuencias menores que 5.

La frecuencia mínima de casilla esperada es 5,5.

Los resultados de la investigación mediante el estadígrafo Chi cuadrado reporta un nivel de significancia o valor de p de 0,000 siendo este menor al valor de  $\alpha = 0,05$  (donde  $p < 0,05$ ), lo que demuestra que dicho nivel se encuentra dentro del rango permitido, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto se concluye que “la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima”.

#### **4.4.3. Tercera hipótesis específica**

El tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima. La siguiente **tabla Excel**, elaborada para este estudio, permite aplicar el Primer principio de Wardrop, en forma automatizada con los siguientes datos:

##### ***Datos de Ingreso:***

$N_c$  = Número Total de usuarios.

$a$  = Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 1.

$b$  = Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 2.

$FC_1$  = factor de congestión por la ruta 1.

$FC_2$  = factor de congestión por la ruta 2.

**Tabla 27**

*Tabla Excel automatizada para calcular los tiempos de equilibrio y los usuarios elaborada por el autor*

TABLA EXCEL AUTOMATIZADA PARA EL PRIMER PRINCIPIO DE WARDROP					
ELABORADA POR EL AUTOR					
	Ingreso de Datos	a<b			
Nc =	1600				
a =	20				
b =	26				
FC1=	0.0375				
FC2=	0.0625				
SALIDA DE DATOS					
RUTA		TIEMPOS (min)		USUARIOS (unid)	Total en Minutos.
Ruta 1 (METROP)	T1	59.8	X1	1060	95600
Ruta 2 (BUSES)	T2	59.8	X2	540	

#### ***Datos de Salida***

$T_1$ = Tiempo utilizado por el usuario por la ruta 1 en min ( $a + Fc1.X1$ )

$T_2$ = Tiempo utilizado por el usuario por la ruta 2 en min ( $b + Fc2.X2$ )

$X_1$ = Número de usuarios que se desplazan por la ruta 1.

$X_2$ = Número de usuarios que se desplazan por la ruta 2.

Con los datos de ingreso Nc, a y b, obtenidos de campo, haciendo uso de esta tabla Excel, se obtiene en forma rápida los tiempos de equilibrio  $T_1 = T_2$  para las rutas 1 y 2, y la cantidad de usuarios que se desplazan hasta alcanzar el equilibrio, con valores similares a los obtenidos en la simulación de las tablas.

#### ***4.4.4. Hipótesis general***

El tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.

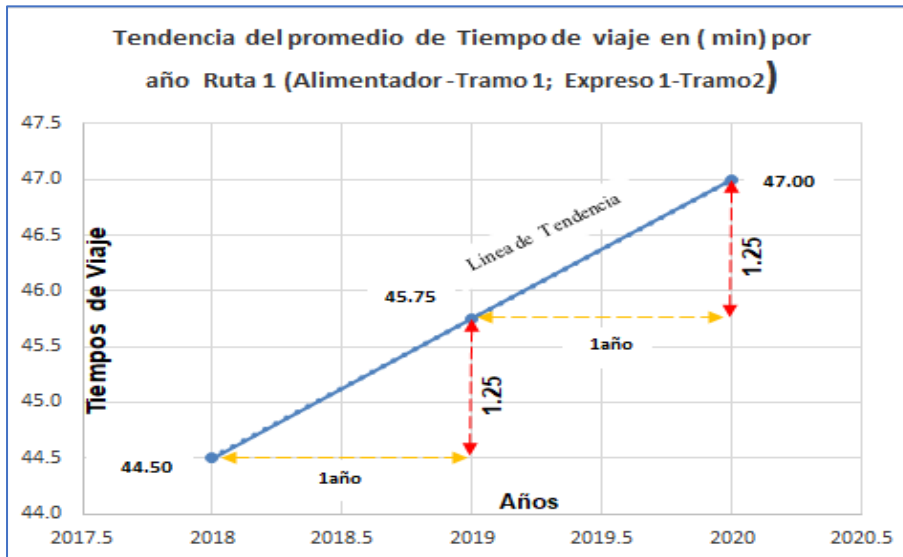
Luego de evaluar la eficiencia del servicio de transporte del Sistema BRT Metropolitano y de los buses convencionales, mediante los tiempos de viaje que experimentan los usuarios de cada uno de estos sistemas, uniendo orígenes y destinos comunes, por rutas diferentes 1 y 2, y aplicando el primer principio de Wardrop mediante la asignación de viajes, del sistema más eficiente al menos eficiente, los usuarios inicialmente tienden a utilizar con mayor frecuencia el sistema del Metropolitano, que los buses convencionales, haciendo que este sistema tienda a la ineficiencia, es decir que los tiempos de viaje se igualen o se equilibren en ambos sistemas, resultando para el sistema BRT Metropolitano el colapso. Mediante Wardrop se conoce el tiempo de equilibrio, que para el Metropolitano nunca se quisiera llegar, pero que representa una alerta para tomar medidas antes que ello ocurra, permitiendo implementar medidas de mejoramiento del servicio, asimismo evaluando la variación histórica anual de los tiempos de viaje del servicio del Metropolitano se puede predecir en cuantos años se dará el tiempo de equilibrio, para tomar medidas y evitar el colapso del servicio del Metropolitano,

Servirá para recomendar medidas correctivas para el mejoramiento del servicio del BRT Metropolitano, instaurado como un servicio de transporte moderno, y recomendaciones para que el servicio de buses convencionales igualmente mejore y se oriente a imitar al servicio de transporte moderno, y se transformen en futuros corredores viales que sumen al Sistema Integrado de Transporte y se tienda al uso del transporte masivo.

De igual manera se lleva a la figura 14, el año 2018, le corresponde un tiempo de viaje de 44.50 min, en el 2019 el tiempo de viaje es de 45.75 min, y el 2020 un tiempo de viaje de 47.00, se traza la línea de tendencias y se observa que dicha tendencia lineal positiva aumenta 1.25 min por año, min. Ver siguiente Figura.

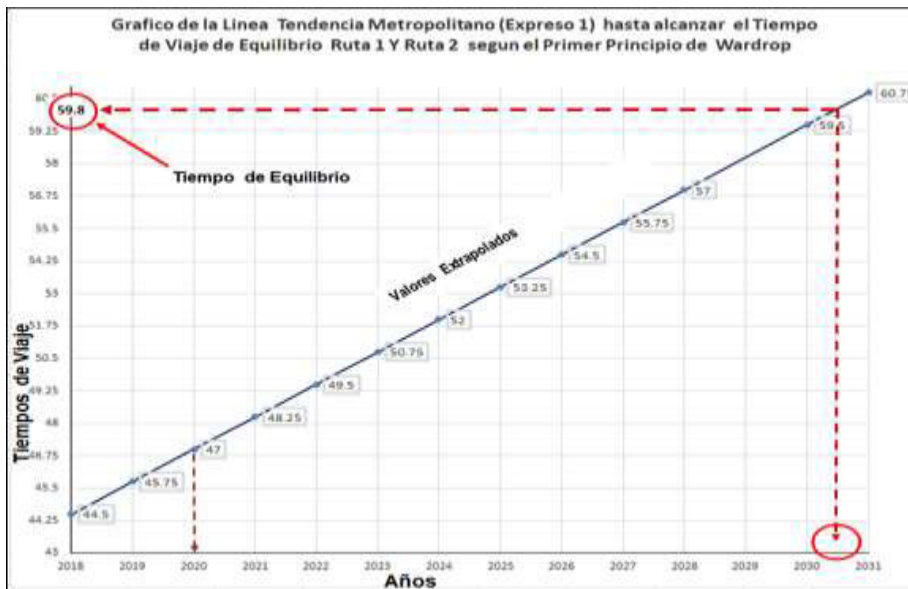
**Figura 14**

*Grafica de la Tendencia promedio del Tiempo de viaje ruta 1 Metropolitano*



**Figura 15**

*Línea de tendencia extrapolada l expreso1 del Metropolitano hasta alcanzar el tiempo de Equilibrio.*



Extrapolando la línea de tendencia se observa en el grafico que dicho tiempo de equilibrio se alcanza en el año 30, lo que significa que hay tiempo suficiente para tomar medidas correctivas, de mejoramiento del sistema BRT Metropolitano.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Trata los objetivos de la investigación, las conclusiones comparando con los antecedentes.

La presente investigación consideró como primer objetivo específico determinar en qué medida el tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima; al respecto, la evaluación del desplazamiento de los usuarios, de dos sistemas de transporte público, desde un destino común, Chorrillos (punto de origen) a Lima Cercado (punto de destino), con rutas e infraestructuras viales distintas, condiciones de tráfico diferentes, fue posible conocer la eficiencia del tiempo de viaje de los usuarios que eligen viajar con el Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a los que viajan con el Sistema de Buses convencionales. Para ello se tomó en cuenta el factor de congestión tanto del Metropolitano como también de los buses convencionales, este factor de congestión representa el factor de demoras de este servicio, en su propia ruta segregada, su propia infraestructura, con sus propias unidades, donde incluye las demoras en las estaciones intermedia y básicamente en las estaciones de los alimentadores, como es el caso del Metropolitano; se realizó el conteo de tráfico en horas punta obteniéndose los siguientes factores de congestión:  $FC1 = 0.0375$  y  $FC2 = 0.0625$ , para el Metropolitano y los buses convencionales, respectivamente.

Una investigación realizada en la ciudad de México, por Fernández, A (2013), titulada “Modelos Matemáticos de Asignación de Tránsito Aplicación a la Red Metropolitana de la Ciudad de México y sus Efectos en el STC – Metro”, tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias, Universidad Autónoma Metropolitana México; el objetivo de este trabajo es introducir cierta clase de modelos matemáticos de asignación de tránsito, en donde se supone

que los usuarios eligen sus rutas basadas en estrategias de tipo óptimo. Para este trabajo es de especial interés tomar en cuenta la congestión y las restricciones de capacidad de las unidades de transporte, debido a que son muy útiles para la planificación urbana en redes de transporte de gran escala, como la Red Metropolitana del Valle de México, la cual incluye a la Ciudad de México y área conurbada. El trabajo es de especial importancia y utilidad para los sistemas de transporte urbano por al menos dos razones: Para la planeación estratégica, al utilizarse como herramienta principal para definir un plan maestro que permita planear futuras ampliaciones de la red de transporte y la introducción de servicios complementarios, y por otra parte, para la planeación operativa de líneas de transporte, ya que permite medir el impacto generado en una red, al poner en operación otros modos y líneas de transporte; permite la planeación de servicios en escenarios de contingencia; ayuda a estimar los cambios en la ausencia de usuarios a la red, generados por cierres parciales de algunas líneas; mide el impacto del incremento/decremento del número de unidades en operación, entre los más importantes.

Analizando las dos investigaciones se concluye que los problemas son similares, ambos estudios consideran que para mejorar el sistema de transporte público el factor de congestión es determinante, Fernández (2013) considera que la herramienta principal para superar las dificultades de transporte es la planificación estratégica esto permitirá elaborar un plan maestro a largo plazo.

Por otra parte, el segundo objetivo específico determinar en qué medida la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima, se formuló un instrumento compuesto por 12 ítems que permitió recoger datos respecto a este objetivo, los resultados determinan que el 56,7% de los usuarios del Sistema Metropolitano consideran

sentirse medio satisfecho, el 10% poco satisfecho y el 30,8% muy satisfecho; mientras que el 78,3% de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales consideran que se sienten “nada satisfecho” o “poco satisfecho”, respecto a la calidad de servicio que brindan este sistema, el 17,50% se siente medio satisfecho y solo el 4,2% se sienten muy satisfecho. En la contratación de hipótesis reporta un nivel de significancia de 0,000 lo que demuestra que dicho nivel se encuentra dentro del rango permitido, por lo tanto, se concluye que “la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima”.

Otra investigación desarrollada por Cristina Albuquerque (2015), Máster en Ingeniería de Transporte por la Universidad Federal de Rio Grande Do Sul - Brasil, realizó una encuesta de satisfacción con usuarios del transporte público a más de dos mil usuarios durante un mes en Curitiba, cuyos resultados dieron a conocer a las principales autoridades locales y de la zona, los resultados obtenidos reflejaron que, en Curitiba, el sistema de transporte público demostró ser efectivo según la percepción de la población; entrevistaron a 2012 personas dentro de los colectivos, con un cuestionario que aborda la percepción del usuario sobre calidad, frecuencia, confiabilidad, tiempo de recorrido, entre otros: El 39% de los usuarios podría viajar en automóvil, pero opta por el autobús; el 27% de los encuestados utiliza con frecuencia las líneas metropolitanas; el 57% dice que la Modernización y ampliación del uso de la tarjeta de transporte ha mejorado o mejorado mucho la seguridad (reducción del uso de efectivo).

Ambas investigaciones son de suma importancia, en el primer caso a pesar que la gran mayoría de los usuarios de los buses convencionales se sienten nada satisfecho o poco satisfecho sin embargo utilizan frecuentemente esta línea de transporte público; por otra parte, la investigación de Albuquerque (2015) concluye que a pesar de poder viajar en



automóvil lo hace en servicio de transporte público, por lo que se puede considerar que ambas investigaciones coinciden en sus resultados.

Igualmente, el tercer objetivo, determinar en qué medida el tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima, los tiempos de viaje de los usuarios de la ruta 1 del Metropolitano, y la ruta 2 de los buses convencionales, desde el origen común en Chorrillos hasta el destino común en Lima Cercado está dado por  $T1= 20+0.0375X1$ , y  $T2= 26+0.0625X2$ , respectivamente. El tiempo de viaje de equilibrio que experimentan los usuarios en horas punta de ambos servicios al ser asignados de acuerdo al primer principio Wardrop; permite concluir que el Metropolitano sería tan eficiente que el servicio de buses convencionales, lo cual no es conveniente para el BRT Metropolitano por ser un sistema moderno, sin embargo este tiempo de equilibrio representa una alerta para tomar medidas de previsión y de mejoramiento del BRT antes que ello ocurra. Evaluando la tendencia lineal histórica se ha determinado que el tiempo de equilibrio ocurrirá en el año 2030.

El tiempo de equilibrio aplicando el primer principio Wardrop se obtuvo de dos formas, primero, tabulando los tiempos de viaje, asignando los usuarios de acuerdo a las preferencias de viaje en cada una de las ecuaciones; para la ruta 1 del Metropolitano y la ruta 2 de los buses convencionales, o mediante la tabla Excel automatizada para el primer principio de Wardrop elaborada para este caso.

Se ha asignado de acuerdo a las preferencias de tal manera, que los usuarios prefieren viajar en el servicio más rápido, en este caso por la ruta 1 del metropolitano; tabulando en las ecuaciones se tiene que, en (un primer escenario), todos los usuarios (1600), eligen viajar por la ruta 1 del Metropolitano, experimentando un tiempo de viaje de

80 min, como se ve saturado los usuarios van migrando al otro servicio, en un (segundo escenario) 1500 van por la ruta 1 y (100) migran a la ruta 2, y así sucesivamente, la migración se va dando con esta tendencia, desde la ruta 1 a la ruta 2, hasta que los tiempos de viaje se equilibran, donde a cualquier usuario le va dar igual, ir por la ruta 1 del Metropolitano, o por la ruta 2 de los buses convencionales de la línea T, ese tiempo de equilibrio en este caso es de 59.80 min. ello ocurre cuando el 33.75%, de los usuarios del Metropolitano han migrado a los buses convencionales, esta situación, es la que no se quisiera llegar ya que la razón del Metropolitano es de ser más eficiente más rápido que los buses convencionales. Cualquier usuario que desea cambiar de ruta a partir de este tiempo de equilibrio experimentará un tiempo mayor, cumpliéndose el primer principio de Wardrop.

Evaluando la tendencia histórica del expreso 1 como el servicio más eficiente del Metropolitano, desde el año 2018 hasta el 2020, se observa que la tendencia es de, 1.25 minutos por año. Luego extrapolando esta tendencia, se observa que el tiempo de equilibrio de 59.8min, se alcanzará en el año 2030 con el Expreso 1, el mejor servicio del Metropolitano en los demás servicios A, B y C, este fenómeno ya podría estar ocurriendo ya que observa grandes congestiones en las estaciones principales e intermedias.

Esto permite concluir que determinado el tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permite con anticipación mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima, tomando medidas como: Mejoramiento en la gestión del transporte del Metropolitano, mejorar la programación de los tiempos de espera en las estaciones, mejorar la frecuencia de las unidades con una buena programación, con aumento de unidades, básicamente en las estaciones de enlace con los alimentadores, mejorar la infraestructura, experimentar estrategias para descongestionar el servicio incrementando pasajes desalentando preferencias, entre otros.

El otro trabajo de investigación realizada por: Cortés, Pineda et al. (2013) “*Modelo de Equilibrio Estocástico para Asignación Conjunta de Transporte Público y Privado*”.

En esta investigación desarrollaron un modelo de equilibrio estocástico para asignación conjunta de sistemas de transporte público y privado, dicho modelo conjunto se basa en el modelo de Equilibrio Estocástico de Transporte Público y del Modelo de Equilibrio Markoviano de Transporte privado. Se distinguen usuarios que solo tienen disponibilidad de transporte público y usuarios que pueden acceder a ambos sistemas de transporte.

Los modelos de asignación de modos de transporte, privado incluyen el Principio de Wardrop, donde los usuarios escogen las rutas que minimicen el tiempo de viaje, y los modelos de transporte público han adoptado también este principio; en el privado los usuarios solo escogen la ruta que minimice el tiempo de viaje, en el transporte público la ruta queda definida, por el bus, por las diferentes opciones por escoger, para llegar al destino requerido, además de considerar el tiempo de viaje en un vehículo de transporte público es importante el tiempo de espera, ligada a otras variables del sistema como la frecuencia y las capacidad de los buses.

El Objetivo de este estudio es desarrollar un modelo de equilibrio estocástico conjunto, en redes de transporte público y privado, incorporando interacciones entre ambos modos en términos de tiempos de viaje y costos generalizados, costo de tarifa en el primer caso, y costos varios en el transporte público. Tales modelos incluyen el efecto de congestión, tanto a nivel vehicular, como a nivel de pasajeros, ambos siguen un comportamiento probable en el tiempo (estocasticidad), lo que permite incorporar las diferentes percepciones que tienen los usuarios.

Se concluye que el modelo de equilibrio conjunto para ambos modos, utilizan la misma infraestructura vial. Los usuarios realizan una elección modal en el modo de origen,

antes de comenzar el viaje. Aquellos usuarios en la red de transporte privado, tiene la posibilidad de escogerse utilizar el auto, manteniéndose en esta red o utilizar el bus traspasándose a la red de transporte público.

La formulación estocástica con parámetros diferenciados, según el tiempo mínimo entre pares origen destino en condiciones de flujo libre, Siendo estos parámetros inversamente proporcionales a la varianza de los tiempos de viaje esperados. Entonces al observar que el mayor valor del tiempo de viaje optimo entre origen y un destino dentro de la red rondaba los **30 minutos**.

Los tiempos de ejecuciones de los algoritmos, con un equipo computacional medio y procedimiento secuencial los módulos de resolución de STE y MTE, la instancia de prueba de algoritmo conjunto arroja que solo los tiempos esperados como factor en la elección modal, un 19% de la población con disponibilidad de automóvil ocupara el transporte público para realizar sus viajes.

Se concluye que los desarrollos presentados pretenden establecer una nueva metodología en el campo de los modelos de equilibrio multimodales, integrando la incertidumbre que tienen los automovilistas y pasajeros que utilizan los sistemas de transporte a la hora de escoger la ruta para realizar sus viajes, estableciendo que, dentro de la población, muchas razones provocan diferentes percepciones entre las personas.

Luego de analizar las dos investigaciones, ambos estudios consideran dos sistemas de transporte público, con un origen y destino común, dos pares de rutas, tiempos de viaje, tiempo de espera, frecuencia y capacidad de buses, comportamiento de los usuarios donde inicialmente escogen la ruta que minimiza el tiempo de viaje, según el principio de Wardrop,

En el caso del primer estudio, las preferencias de los usuarios se dan entre elegir la ruta 1 del BRT Metropolitano como sistema moderno más eficiente, o la ruta 2 de la línea T de buses convencionales, que les permite alcanzar un destino desde un nodo o paradero,

rutas a seguir, por tanto, ambos estudios consideran, preferencias del usuario, eligiendo la más atractiva y puede ser modelado como un equilibrio del usuario.

En el primer estudio cada usuario que necesita viajar desde un origen a un destino compara los tiempos esperados de viaje, de la ruta 1 Metropolitano o ruta 2 buses convencionales, la elección de rutas se da en dos únicas posibles, en el segundo la elección se da probabilísticamente entre varias líneas.

En el primer estudio la elección de preferencia se da por la eficiencia, traducida en rapidez en el tiempo de viaje de cada modo de transporte, la migración de los usuarios se da del más eficiente al menos eficiente, en el segundo estudio el caso se da por el costo eligen el bus y prefieren traspasarse del transporte privado al público.

En el caso del primer estudio si bien los parámetros diferenciados no obedecen a una formulación estocástica, los tiempos mínimos entre pares origen destino en condiciones de flujo libre varían de 20 a 26 minutos, y el tiempo de equilibrio que depende de la congestión y de la cantidad de usuarios migrantes de un modo a otro es de 59.8min, los usuarios para alcanzar el tiempo de equilibrio han migrado un 33,75%.

En el caso del primer estudio los pasajeros o usuarios, no consideran la incertidumbre ni la probabilidad para escoger la ruta debido a que son solo dos y realizar los viajes, tampoco comparten la infraestructura, en el segundo estudio la elección modal es probabilística del privado a público en la misma infraestructura entre varias líneas, sin embargo, los problemas son similares.

Se concluye finalmente que el primer estudio explica el problema comprobando la hipótesis, ya que alcanzado el equilibrio es cuando el sistema más eficiente debe mejorarse; en el segundo estudio si bien no alcanza totalmente los objetivos como la existencia de equilibrio del modelo integrado, sin embargo se han alcanzado los objetivos de los modelos de equilibrio en forma independiente, quedando como una

investigación pendiente, por integrar costos monetarios a utilizar modo o medidas de confort y hacinamiento para elección modal, lo que en el primer estudio si, se ha considerado, sumando más coincidencias y similitudes en lo que queda pendiente del segundo estudio.

### **Aporte**

La evaluación de los tiempos de viaje mediante el principio de Wardrop, se podrá extender o replicar para otros dos sistemas de transporte, permitiendo conocer como variará la eficiencia de servicio, de uno respecto al otro, desde un origen y destino común, citando como un segundo ejemplo la evaluación, del sistema de Metro Lima (línea1), con el BRT Metropolitano desde Villa Salvador, hasta el Cercado de Lima, o cualquier otro par de sistemas de transporte público, desde puntos de origen y destino comunes. La contribución de este estudio radica en lo siguiente: siendo el primer principio de Wardrop de aplicación para el transporte privado; en este estudio se ha utilizado para la evaluación de dos sistemas de transporte público, entre uno de mayor eficiencia con otro de menor eficiencia y que puede ser replicado en cualquier otro par de sistemas de transporte público con origen y destino común.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1. La evaluación del desplazamiento de los usuarios, de dos sistemas de transporte público, desde un punto origen y destino comunes, como el Sistema Metropolitano de Transporte BRT con el Sistema de Buses convencionales de la línea T, desde Chorrillos a Lima Cercado, con rutas e infraestructuras viales distintas, condiciones de tráfico diferentes, permite conocer la eficiencia del Tiempo de viaje o de traslado de los usuarios que eligen viajar con el Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a los que viajan en el Sistema de Buses convencionales.
- 6.2. Evaluando la percepción de los usuarios, sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano de Transporte respecto a la calidad del servicio de los buses convencionales, se concluye que los usuarios del Metropolitano siendo un sistema BRT moderno, existe un 56.7% , que se encuentran medio satisfecho, 30,8% muy satisfecho, y 2.5% , totalmente satisfecho, lo cual explica que hay mucho que mejorar, los indicadores de calidad, básicamente aquellas relacionadas a los tiempos de espera en los paraderos y estaciones, orientación a los usuarios, y el confort a los usuarios.
- 6.3. Evaluando la eficiencia de los tiempos de viaje o de traslado de los usuarios que eligen viajar con el Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a los usuarios que eligen viajar con el Sistema de Buses convencionales, mediante el primer principio de Wardrop, permite conocer que los tiempos de viaje tienden a equilibrarse, lo cual no es conveniente para el BRT Metropolitano como un sistema moderno ya que se igualaría al sistema convencional, no cumpliendo el objetivo

como tal ; sin embargo este tiempo de equilibrio, permite alertar, que este sistema moderno viene perdiendo eficiencia y necesita ser mejorado, sin llegar al tiempo de equilibrio, porque ello significaría el colapso del BRTMetropolitano.

- 6.4. La evaluación de los tiempos de viaje ha permitido conocer el tiempo de equilibrio mediante Wardrop, luego analizando la tendencia de los tiempos de viaje históricos del BRT Metropolitano desde el año 2018, al año 2020 en el servicio más rápido como es el Expreso1; el tiempo de Viaje de Equilibrio de 59.8min, según la tendencia lineal el servicio del Metropolitano lo alcanzará en el año 2030, lo cual permitirá con mucho tiempo de anticipación, tomar medidas o programas de Mejoramiento de este Servicio, siendo posible realizar, actividades de Mejoramiento paulatino. Por tanto, el presente estudio aparte de prevenir el colapso del Metropolitano, permite predictivamente estimar cuándo ocurrirá, permitiendo tomar a tiempo acciones de mejoramiento del Sistema de Transporte BRT Metropolitano.



## VII. RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda mejorar la eficiencia del servicio del Metropolitano BRT, referido a tiempo de viaje del usuario, tomando medidas correctivas, en puntos críticos donde se generan las demoras, básicamente en la zona de los alimentadores, y en las estaciones críticas, medidas relacionadas a bajar los tiempos de espera. Se han registrado demoras excesivas en los tiempos de bajada y de abordaje de pasajeros, en las estaciones críticas y demoras en la zona de alimentadores en razón a que no existe una adecuada distribución de las frecuencias de salida, siendo estas irregulares, los tiempos de espera en los paraderos y de llegada de las unidades a la estación de alimentadores varían de cinco a veinte minutos, en ida o regreso lo cual contribuye en aumentar los tiempos de viaje de los usuarios.
- b) Se recomienda, realizar medidas de Mejoramiento del Sistema Metropolitano BRT, relacionadas con los indicadores del transporte público, rapidez, puntualidad, comodidad y confort, tiempo de espera en las estaciones y paraderos, información al usuario entre otros.
- c) Se recomienda tomar medidas correctivas necesarias de Mejoramiento del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, que permitan contrarrestar, la tendencia al equilibrio: Mejorando la infraestructura aumentando la capacidad de las estaciones básicamente las intermedias para evitar colas, priorizar unidades en hora punta y en rutas de mayor demanda, mejorar la frecuencia de los alimentadores para bajar los tiempos de espera en las estaciones de los alimentadores, implementar un mejor control de los ciclos de las unidades, corregir, los tiempos de demora que ocurren en las estaciones centrales, principales y enlaces con los alimentadores, incentivar a que las líneas de

buses convencionales tiendan a convertirse en corredores del Sistema Integrado de Transportes.

- d) En el presente estudio se ha demostrado que los tiempos de viaje del Metropolitano respecto al de los buses convencionales tienden a igualarse, en caso que esta tendencia se agudice, se recomienda contrarrestar este fenómeno, con ciertas medidas que contribuyen a mejorar el servicio, reajustando el pasaje del Metropolitano para desalentar esta tendencia al uso de este servicio, mejorar los tiempos de viaje reduciendo frecuencias, realizando un adecuada distribución de estas, o aumentando unidades, mejorar la infraestructura de los paraderos críticos del Metropolitano, fomentar el pasaje integrado con los buses, promover y fomentar los corredores complementarios para que formen parte del SIT (Sistema Integrado de Transportes).

## VIII. REFERENCIAS

- Albuquerque, C. y Barcelos, M. (2015). *Satisfacción con usuarios del transporte público*. [Encuesta]. Rio Grande Do Sul, WRI Brasil.
- Ambrosio, E. (2014). *Vías Urbanas*. Universidad de Huánuco.
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de tránsito*. Fundamentos y aplicaciones. 8ª edición. México. Alfa omega.
- Cepal.org (2010). Qué es un BRT, o la implementación del Metrobús en la ciudad de Buenos Aires, Argentina. Guía del Sistema del BRT. Boletín FAL. Edición N° 312, número 8.
- COSAC (01 de octubre de 2016). *Conductor Manual de Seguridad Vial*. La enciclopedia libre Wikipedia.. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Conductor>.
- Correa, E. (2018). *El Sistema de Transporte y el Caos Vehicular en la Ciudad de Huacho periodo 2016*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.
- Delgado-Fernández, J., Hernández-López, E., Carmona-Morales, A. (2017) *Flujo Vehicular; una perspectiva con Transporte Óptimo Ramificado*. Revista del Desarrollo Urbano y Sustentable. Vol.3 No.9 53-59.  
[https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo\\_Urbano\\_y\\_Sustentable/vol3num9/Revista\\_del\\_Desarrollo\\_Urbano\\_y\\_Sustentable\\_V3\\_N9\\_6.pdf](https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Desarrollo_Urbano_y_Sustentable/vol3num9/Revista_del_Desarrollo_Urbano_y_Sustentable_V3_N9_6.pdf)
- Fernández, A. (2013). *Modelos matemáticos de asignación de tránsito: aplicación a la red metropolitana de la Ciudad de México y sus efectos en el STC-Metro*. [tesis de pregrado, Universidad Autónoma Metropolitana. Repositorio Institucional UAM. <https://bindani.izt.uam.mx/concern/tesiuams/vd66w008t?locale=es>.
- Flores, C. (2017). *Análisis de la Metodología Clásica del Modelo de Planificación del Transporte Urbano desde el Ámbito de la Movilidad Sostenible*. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.

[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9370/FLORES\\_CESAR\\_PLANIFICACION\\_TRANSPORTE\\_URBANO\\_MOVILIDAD\\_SOSTENIBLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9370/FLORES_CESAR_PLANIFICACION_TRANSPORTE_URBANO_MOVILIDAD_SOSTENIBLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gómez, I. (2010). *Sistemas de Transporte Masivo BRT en ciudades con Problemas de Congestionamiento Vial*.

Gutiérrez, L. (2013). “*Transporte Público de Calidad y la Movilidad Urbana*”. [Tesis de Master, Universidad de Boston (EE.UU. de Norteamérica U.S.A)]. Repositorio Institucional NTU. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/7139/Segura\\_LGM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/7139/Segura_LGM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Larios, A. (2021). *Modelo de SemafORIZACIÓN Vial y Peatonal para Mitigar Accidentes de Tránsito, aplicando todo en rojo; para la Av. Inca Garcilaso de la Vega e Intersecciones – Ciudad de Lima*. [tesis de Maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV.

Ley N° EN13816 – ECS. Norma europea que es el estándar dirigido a los operadores de transporte de viajeros por carretera, sea cual sea su modalidad, y permite determinar las condiciones en las que se presta este servicio desde el punto de vista del viajero (2002).

Manual VCHI (2005). *Condiciones de la Vialidad y Características del Tránsito*. Plan Maestro de Transporte Urbano para el Área Metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú. (Informe Final) Capítulo 4. Fase I. [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11798261\\_05.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11798261_05.pdf)

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (julio de 2017). *Manual de Seguridad Vial*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (1ra. edición).

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual\\_de\\_Seguridad\\_Vial\\_2017.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual_de_Seguridad_Vial_2017.pdf) .

Metropolitano.com.pe (2016). *Metropolitano*. Perú.

<http://www.metropolitano.com.pe/conocenos/rutas/?layout=blog>

Moreno, E., Rico, O. y Bustos, A. (2015) *Funciones volumen-demora en la modelación de flujos vehiculares*. (Publicación Técnica No. 427. *La Secretaría de Comunicaciones y Transporte a través del Instituto Mexicano de Transporte – México*.

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt427.pdf>.

Municipio de Medellín (2006). *Usos del Suelo Urbano*. Documento técnico de Soporte POT [Acuerdo 46/2006]. (9na. edición). <https://www.medellin.gov.co/es/wp-content/uploads/2023/03/10.usosSueloUrbano.pdf>.

Noriega, J. (2014). *Plan Vial para una distribución eficiente del Tráfico de Vehículos en la ciudad de Moyobamba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.

Ortúzar, J. D., y Willumse, J. (1994). *Modelling transport*. John Wiley, Chichester, 2° edición. [https://download.e-bookshelf.de › download](https://download.e-bookshelf.de/download)

UNAM.mx (2000). *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad*. Universidad Nacional Autónoma de México. (6ta. Edición).

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A6.pdf?sequence=6>

Wikipedia.org. (2021). *Transporte privado*. La Enciclopedia Libre.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte\\_privado](https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_privado).

Wikipedia.org. (2022). *Metropolitano (Lima)*. La Enciclopedia Libre.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Metropolitano\\_\(Lima\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Metropolitano_(Lima)).

XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte (21 de octubre de 2013). *Modelo de Equilibrio Estocástico para Asignación Conjunta de Transporte Público y Privado*.

Universidad de Chile, Santiago. <https://www.sochitran.cl/2013/10/21/xvi-congreso-chileno-de-ingenieria-de-transporte-universidad-de-chile-santiago/>

Zambrano, M. y Gavilanes, P. (2014). *Análisis de competitividad del transporte público y el transporte privado en la ciudad de Guayaquil - sector Sauces*. [tesis de Maestría,

Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE.

<https://1library.co/document/dy4g72ky-analisis-competitividad-transporte-publico-transporte-privado-guayaquil-sector.html>.

## IX. ANEXOS

## Anexo A. Matriz de Consistencia

EVALUACION DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE TRANSPORTE (B.R.T.) RESPECTO AL SISTEMA DE BUSES APLICANDO EL PRINCIPIO DE WARDROP					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES		METODOLOGIA
			VARIABLE 1		
			V1= Eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT		
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO DE INVESTIGACION
¿En qué medida la Eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a la eficiencia del sistema de buses Convencionales aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?	Determinar, en qué medida la Eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto a la eficiencia del sistema de buses Convencionales aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	La evaluación de la eficiencia del Sistema Metropolitano de Transporte BRT, respecto a la eficiencia del sistema de buses Convencionales aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de Viaje o de traslado de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Valor del Tiempo de viaje en flujo libre de los usuarios del Sistema BRT</li> <li>* Valor del Tiempo de viaje en flujo congestionado de los usuarios del sistema BRT (<math>FC1 * X1</math>).</li> <li>* Valor del Tiempo de Viaje Total de los usuarios del Sistema BRT (<math>T1 = a + FC1 * X1</math>)</li> </ul>	<p><b>Método:</b> Hipotético deductivo</p>

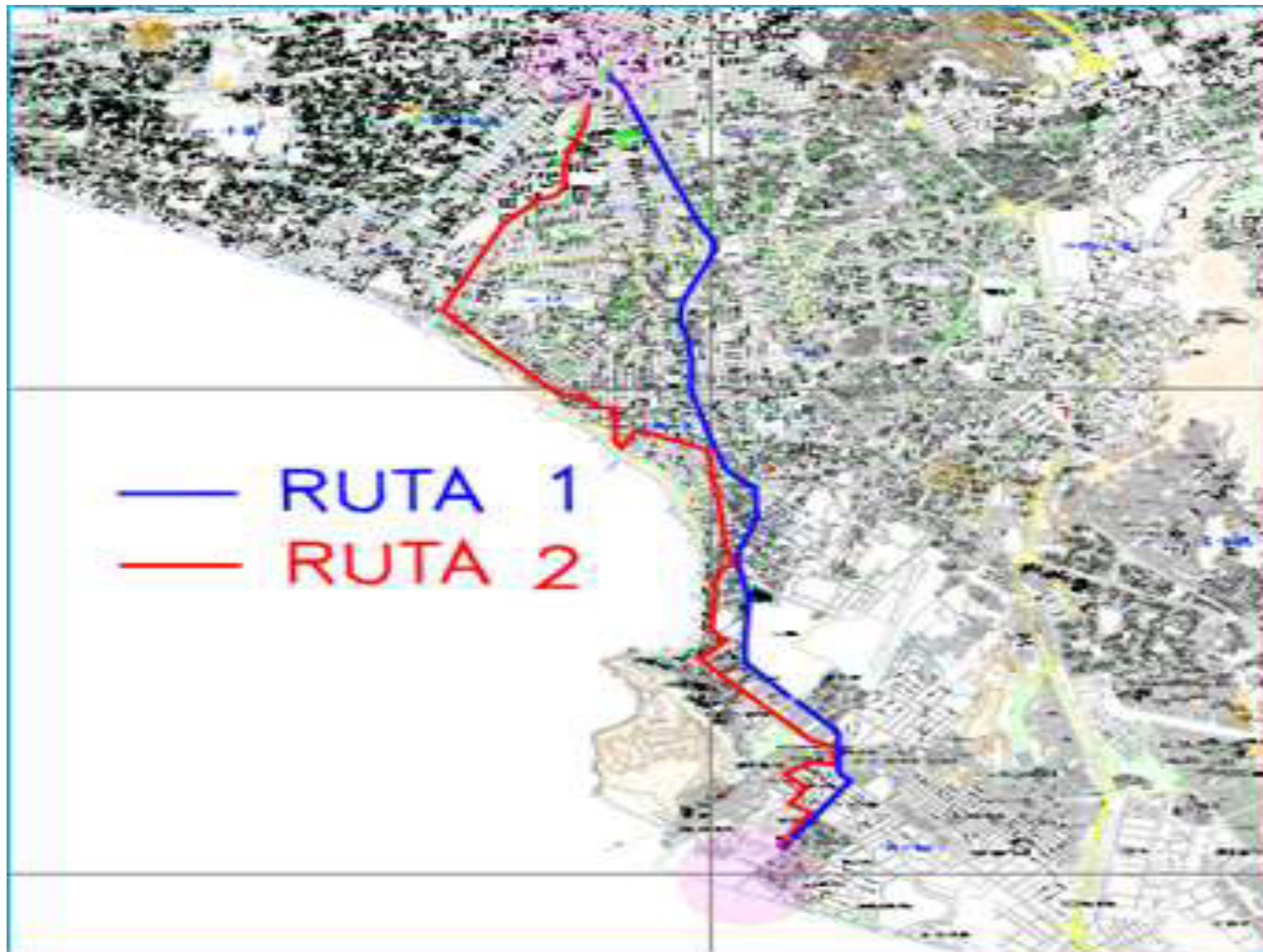
					<b>Diseño:</b> No experimental  <b>Tipo de diseño:</b> Descriptivo Comparativo.  <b>Nivel:</b> Predictivo
<b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b>			
<b>Problema específico 1</b>	<b>Objetivo específico 1</b>	<b>Hipótesis específica 1</b>			
¿En qué medida el tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?	Determinar en qué medida el tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima	La evaluación de la eficiencia del tiempo de viaje de los usuarios del Sistema Metropolitano de Transporte BRT respecto al tiempo de viaje de los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT.</li> <li>Tiempo de Viaje de equilibrio de los usuarios del sistema Metropolitano BRT y de los buses Convencionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Comodidad, confort de los usuarios, del Sistema Metropolitano BRT.</li> <li>* Seguridad, protección de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT.</li> <li>* Limpieza y cuidado del medio ambiente del servicio del Sistema Metropolitano BRT.</li> <li>* Valor del Tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del sistema BRT y de los usuarios del sistema de buses convencionales.</li> </ul>	
				Te= T1= T2	



			<b>VARIABLE 2</b>		
<b>Problema Especifico 2</b>	<b>Objetivo Especifico 2</b>	<b>Hipótesis Especifico 2</b>	<b>Eficiencia del sistema de transporte de buses convencionales.</b>		<b>TIPO DE INVESTIGACION</b>
¿En qué medida la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?	Determinar en qué medida la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	La evaluación de la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano BRT respecto a la percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de Buses Convencionales, aplicando el principio de Wardrop, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	Tipo: Básica. Enfoque: cuantitativo
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo de Viaje o de traslado de los usuarios del Sistema de buses convencionales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Valor del Tiempo de viaje en flujo libre de los usuarios del Sistema de buses convencionales</li> <li>* Valor del Tiempo de viaje en flujo congestionado de los usuarios del sistema de buses convencionales (FC1*X1).</li> <li>*Valor del Tiempo de Viaje Total de los usuarios del Sistema de buses convencionales (T1= a + FC1*X1)</li> </ul>	
<b>Problema Especifico 3</b>	<b>Objetivo Especifico 3</b>	<b>Hipótesis Especifico 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Percepción de los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Comodidad, confort de los usuarios,</li> </ul>	<b>POBLACION DE ESTUDIO</b>

¿En qué medida el tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima?	Determinar en qué medida el tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permitiría mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	La evaluación del tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del Sistema Metropolitano BRT respecto a los usuarios del Sistema de Buses Convencionales, permite mejorar el servicio BRT, en el tramo de Chorrillos a Lima.	usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema de buses convencionales.	del Sistema de buses convencionales.  * Seguridad, protección de los usuarios, del Sistema de buses convencionales.  * Limpieza y cuidado del medio ambiente del servicio Sistema de buses convencionales.	- <b>POBLACIÓN:</b> 1722 usuarios del Metropolitano y 32759 usuarios que viaja en bus.  - <b>MUESTRA=</b> 314 usuarios del Metropolitano y 380 usuarios del bus convencional.  - Para modelación de Wardrop: 1600 usuarios de bus de la Línea T y del BRT Metropolitano
			• Tiempo de Viaje de equilibrio de los usuarios de los buses convencionales y del Sistema Metropolitano BRT	* Valor del Tiempo de viaje de equilibrio de los usuarios del sistema de buses convencionales y de los usuarios del sistema Metropolitano BRT ( $T_e = T_2 = T_1$ )	<b>INSTRUMENTOS</b> <b>TÉCNICA 1:</b> Censo <b>INSTRUMENTO 1:</b> Formulario censal <b>TÉCNICA 2:</b> Encuesta <b>INSTRUMENTO 2:</b> Cuestionario

Anexo B. Figura de las rutas en estudio Ruta 1 de Metropolitano, Ruta 2 Línea de buses T Etusa









**Anexo F. Tabla de cálculo de tiempo en flujo libre “a” ruta 1 Metropolitano**

CALCULANDO "a"							Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 1 (Nivel de servicio A, congestión 0)
TRAMOS	REFERENCIA	DISTANCIA (Km)	VELOCIDAD PROMEDIO MAXIMA REGISTRADA (K/h) NIVEL SERVICIO A (CONGESTION 0)	TIEMPO PROMEDIO (horas)	TIEMPO PROMEDIO (minutos) Flujo Libre	Tiempo Total Flujo Libre (minutos)	
Tramo 1	Desde Interseccion Av- Los Incas - Av. La Alameda de los Cedros HASTA Matellini Alimentador.	3.5	53.40	0.066	3.9	4	
Tramo 2	Desde: Matellini HASTA Estacion Central	14	53.40	0.262	15.7	16	
						20	

**Anexo G. Tabla de cálculo de Factor de Congestión “Fc1” ruta 1 Metropolitano**

CALCULO DEL FACTOR (FC1) DE CONGESTION VIAS CONGESTIONADAS PARA LA RUTA 1 METROPOLITANO (Para usuarios pasajeros)						
TRAMOS	REFERENCIA	DISTANCIA (Km)	Nº Buses Metr. Por cada 15 minutos	Capacidad Bus Metr (pasajeros)	FC1 Nº Usuarios en 15 minutos	FC1 (1Minu/Nº Usuarios)
Tramo 1	Desde Interseccion Av- Los Incas - Av. La Alameda de los Cedros Hasta Estacion Matellini	3.5	3.00	80.000	240	0.0625
Tramo 2	Desde: Matellini Hasta Estacion Central	14	3.00	160.000	480	0.03125

**Anexo H. Tabla de cálculo de tiempo en flujo libre “b” ruta 2 Línea T**

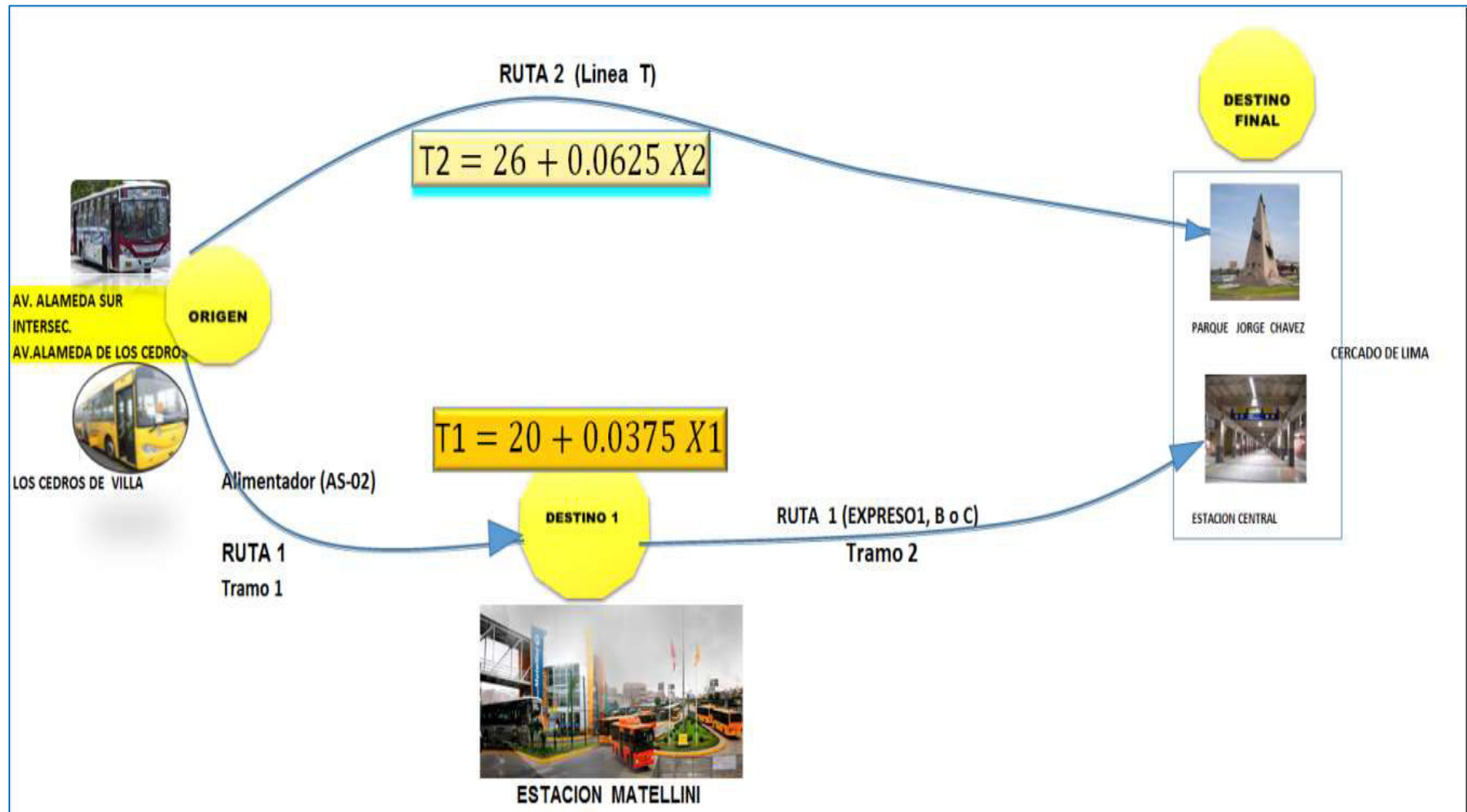
CALCULANDO "b"		Tiempo utilizado por el usuario en condiciones de flujo libre por la ruta 2 (Nivel de servicio A, congestión 0)				
TRAMOS	REFERENCIA	DISTANCIA (Km)	VELOCIDAD PROMEDIO MAXIMA REGISTRADA (K/h) NIVEL SERVICIO A (CONGESTION 0)	TIEMPO PROMEDIO (horas)	TIEMPO PROMEDIO (minutos) Flujo Libre	Tiempo Total Flujo Libre (minutos)
Tramo 1	Desde Interseccion Av- Los Incas - Av. La Alameda de los Cedros	22.5	51.50	0.437	26	26

**Anexo I. Tabla de cálculo de Factor de Congestión “Fc2” ruta 2 Línea T**

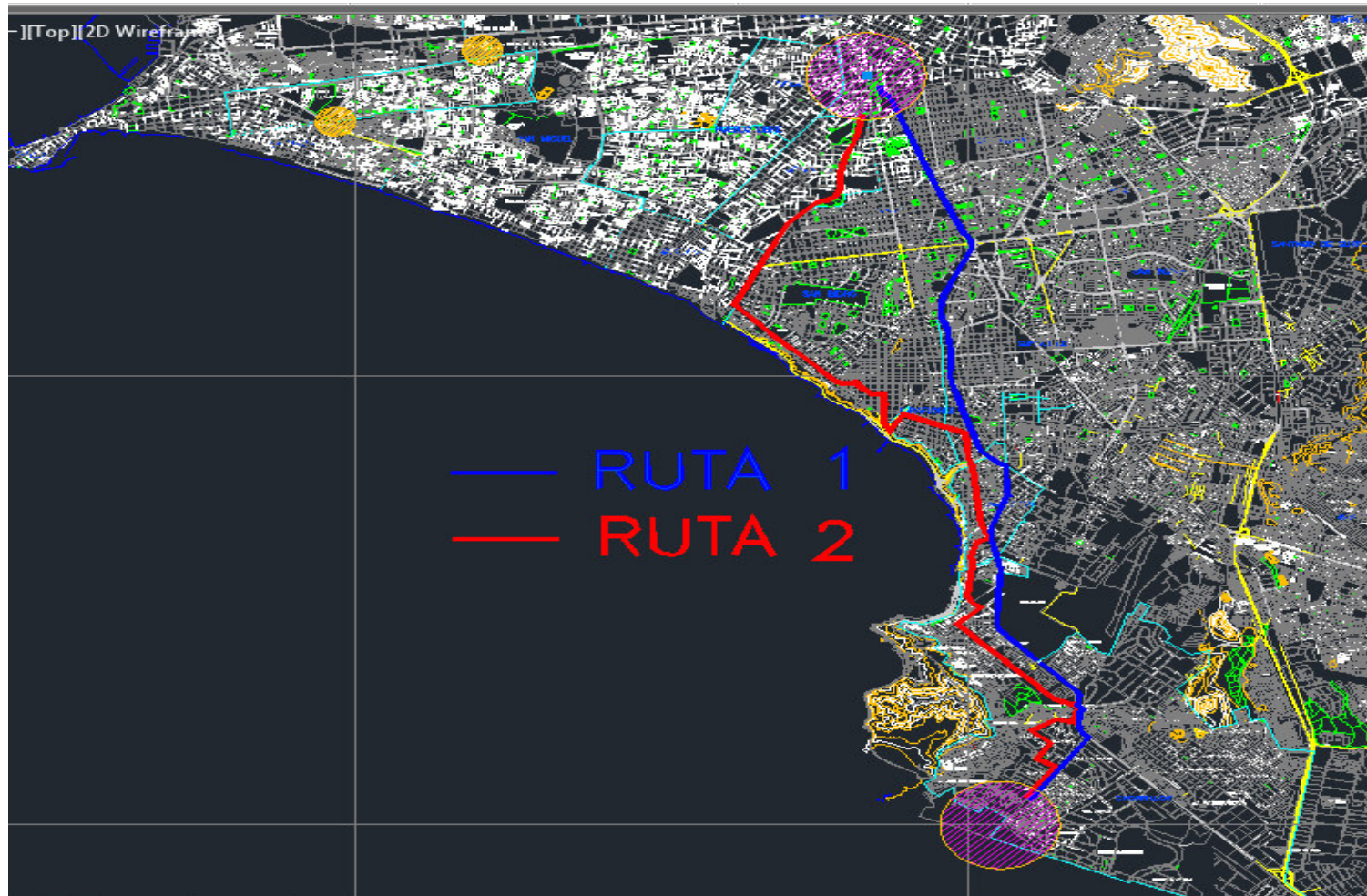
CALCULO DEL FACTOR (FC2) DE CONGESTION VIAS CONGESTIONADAS PARA LA RUTA 2 LINEA T (Para usuarios pasajeros)						
TRAMOS	REFERENCIA	DISTANCIA (Km)	Nº Buses Por cada 15 minutos	Capacidad Bus (pasajeros)	FC2 Nº Usuarios en 15 minutos	FC2 (1Minu/16usuarios)
Tramo 1	Desde Interseccion Av- Los Incas - Av. La Alameda de los Cedros- Plaza Jorge Chavez	22.5	3.00	80.000	240	0.0625





Anexo J. Esquema de Rutas 1 y 2 del Metropolitano y de la Línea T, mostrándose el origen y destino final común



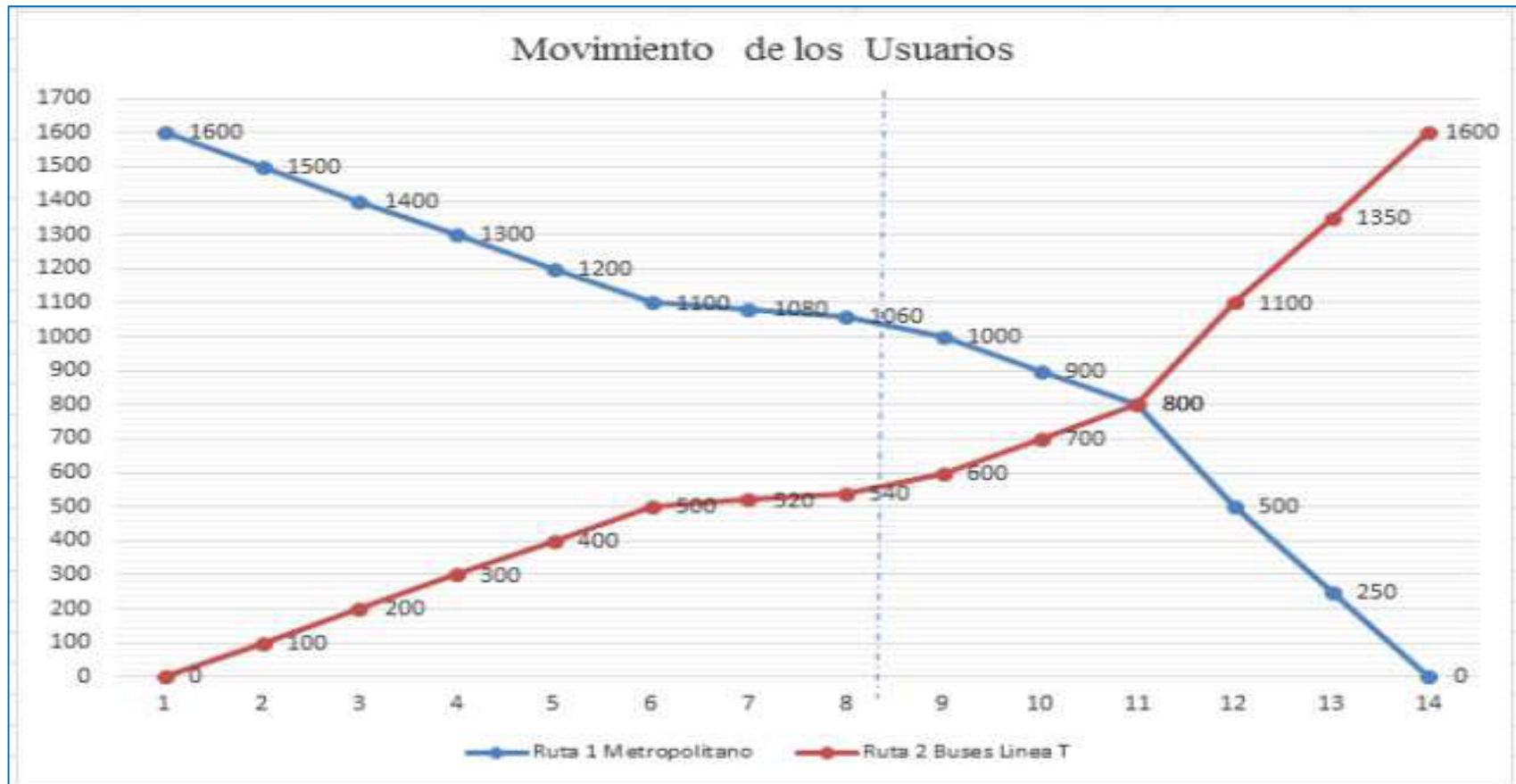
### Anexo K. Recorrido real de las Ruta 1 Metropolitano, Ruta 2 Línea T



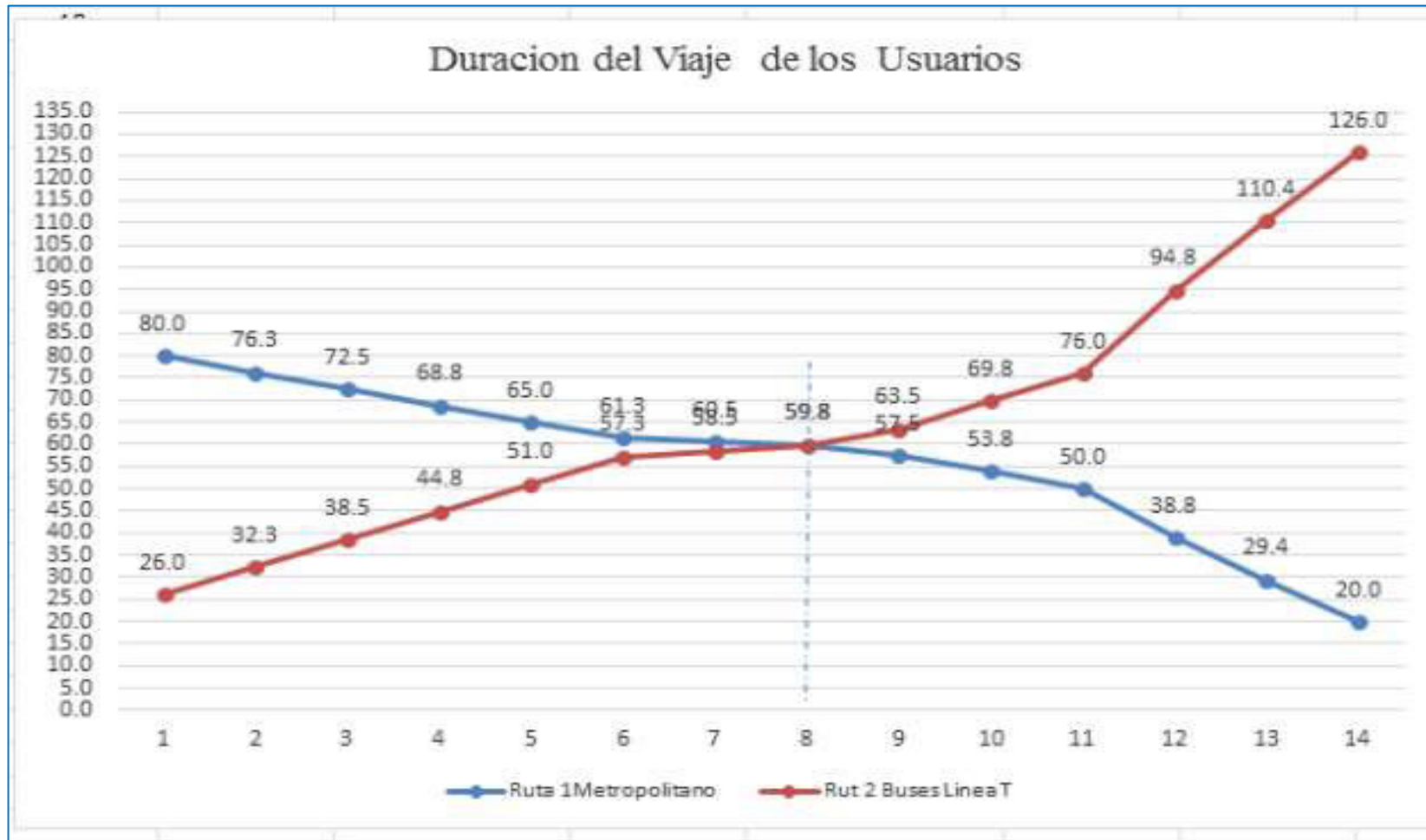
Anexo L. Tabla mostrando las ecuaciones de los tiempos totales Ruta 1 Metropolitano Ruta 2 Línea T, y los resultados que se Obtienen cuando se aplica el primer principio de Wardrop – se observa el tiempo de equilibrio

$T1 = 20 + 0.0375 X1$					$T2 = 26 + 0.0625 X2$				
RUTA 1 (METROPOLITANO)					RUTA 2 (ETUSA LINEA T)				
Q	a	X1	FC1	T1= a+ X1*Fc1	Q	b	X2	FC2	T2=b+ X1*Fc1
1600									
1	20	1600	0.03750	80.0	1	26	0	0.0625	26.0
2	20	1500	0.03750	76.3	2	26	100	0.0625	32.3
3	20	1400	0.03750	72.5	3	26	200	0.0625	38.5
4	20	1300	0.03750	68.8	4	26	300	0.0625	44.8
5	20	1200	0.03750	65.0	5	26	400	0.0625	51.0
6	20	1100	0.03750	61.3	6	26	500	0.0625	57.3
7	20	1080	0.03750	60.5	7	26	520	0.0625	58.5
8	20	1060	0.03750	59.8	8	26	540	0.0625	59.8
9	20	1000	0.03750	57.5	9	26	600	0.0625	63.5
10	20	900	0.03750	53.8	10	26	700	0.0625	69.8
11	20	800	0.03750	50.0	11	26	800	0.0625	76.0
12	20	500	0.03750	38.8	12	26	1100	0.0625	94.8
13	20	250	0.03750	29.4	13	26	1350	0.0625	110.4
14	20	0	0.03750	20.0	14	26	1600	0.0625	126.0

Anexo M. Figura donde se muestra el movimiento de los usuarios de la ruta 1 Metropolitano Ruta 2 Buses Convencionales, cuando se aplica el primer principio de Wardrop



Anexo N. Figura donde se muestra la Variación de los tiempos de viaje de los usuarios de la ruta 1 Metropolitano Ruta 2 Buses Convencionales, cuando se aplica el primer principio de Wardrop se observa el tiempo de equilibrio.



Anexo O. Tabla Excel preparada por el autor de esta tesis, que permite, aplicar el primer Principio de Wardrop Se Observa datos de ingreso y los datos de salida.

TABLA EXCEL AUTOMATIZADA PARA EL PRIMER PRINCIPIO DE WARDROP					
ELABORADA POR EL AUTOR					
	Ingreso de Datos	a<b			
Nc =	1600				
a =	20				
b =	26				
FC1=	0.0375				
FC2=	0.0625				
		SALIDA DE DATOS			
RUTA		TIEMPOS (min)		USUARIOS (unid)	Total en Minutos.
Ruta 1 (METROP.	T1	59.8	X1	1060	95600
Ruta 2 (BUSES)	T2	59.8	X2	540	

**Datos de Ingreso:** Nc, a, b; **datos de salida:** T1, T2, X1 y X2, minutos totales.

**Anexo P.** Instrumento para medir la Calidad del Servicio que presta a los Usuarios los Buses del Sistema Metropolitano y del Sistema de Buses Convencionales.



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA METROPOLITANO DE  
TRANSPORTE (B.R.T.) RESPECTO AL SISTEMA DE BUSES APLICANDO EL  
PRINCIPIO DE WARDROP”

INSTRUMENTO PARA MEDIR LA CALIDAD DEL SERVICIO QUE PRESTA A LOS  
USUARIOS LOS BUSES DEL SISTEMA METROPOLITANO Y DEL SISTEMA DE  
BUSES CONVENCIONALES

Estimado(a) usuario:

A continuación, encontrarás preguntas sobre tu percepción con respecto a la calidad de servicios que les presta los buses del Metropolitano o los buses convencionales, según sea el caso. No hay respuestas correctas o incorrectas; solo se desea saber tu opinión para ello te pedimos que respondas con la mayor sinceridad y confianza. Nadie sabrá lo que contestaste porque no vas a escribir tu nombre en el cuestionario.

Instrucciones:

En las preguntas que se presentan a continuación existen cinco (5) alternativas, señala con una equis (X) la respuesta que creas conveniente, asegúrate de marcar una sola alternativa por cada pregunta, no dejes ninguna pregunta sin responder.

Las alternativas son:

1. Nada satisfecho
2. Poco satisfecho
3. Medio satisfecho
4. Muy satisfecho
5. Completamente satisfecho

Antes de iniciar el cuestionario, registra esta información, marcando con X

Sexo : Femenino ( ) Masculino ( )

Servicio : El Metropolitano ( ) Buses convencionales ( )

## DIMENSIÓN 2: Percepción de los usuarios sobre la calidad de servicio del Sistema Metropolitano y de los Buses convencionales

Queremos saber cómo estás percibiendo el servicio que brinda el Metropolitano o los buses convencionales, según sea el caso:

		Nada satisfecho	Poco satisfecho	Medio satisfecho	Muy satisfecho	Completamente satisfecho
Nº	Ítems	1	2	3	4	5
1	Se encuentra usted satisfecho con la <b>RAPIDEZ</b> del servicio					
2	Se encuentra usted satisfecho con la <b>PUNTUALIDAD</b> del servicio					
3	Se encuentra usted satisfecho con la <b>COMODIDAD Y CONFORT</b> del servicio					
4	Se encuentra usted satisfecho con el <b>TIEMPO DE ESPERA EN PARADEROS</b> de este servicio					
5	Se encuentra usted satisfecho con la <b>ATENCION AL USUARIO Y TRATO PERSONAL</b> en este servicio					



6	Se encuentra usted satisfecho con la <b>INFORMACION Y ORIENTACION AL USUARIO</b> de este servicio					
7	Se encuentra usted satisfecho con la <b>LIMPIEZA Y CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE</b> de este servicio					
8	Se encuentra usted satisfecho en <b>VIAJAR CON SEGURIDAD POR ACCIDENTES</b> en este servicio					
9	Se encuentra usted satisfecho <b>en VIAJAR CON SEGURIDAD POR ROBOS</b> en este servicio					
10	Se encuentra usted satisfecho en <b>VIAJAR CON SEGURIDAD POR ACOSO</b> en este servicio					
11	Se encuentra usted satisfecho con el <b>CON EL COSTO DEL PASAJE</b> de este servicio					
12	Se encuentra usted satisfecho con las <b>FACILIDADES PARA PAGAR</b> en este servicio					

## Anexo Q: Base de Datos

Evaluación de la eficiencia del Sistema Metropolitano (BRT) respecto al Sistema de Buses Convencionales aplicando el Principio de Wardrop																											
Nº	SISTEMA METROPOLITANO													Nº	SISTEMA DE BUSES CONVENCIONALES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	V1D2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	V2D2
1	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	1	3	38	1	3	3	3	3	4	3	4	3	3	2	2	1	34
2	4	3	4	2	3	4	5	3	3	2	1	3	37	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	1	31
3	3	3	3	4	4	4	2	3	3	3	3	4	39	3	3	1	3	4	2	3	2	3	2	3	2	2	30
4	2	3	1	3	3	4	4	3	3	2	1	4	33	4	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	43
5	4	4	4	3	4	3	5	5	5	3	3	2	45	5	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	4	2	32
6	4	4	3	1	4	4	4	4	4	2	2	4	40	6	3	3	2	4	2	2	2	1	2	2	4	2	29
7	4	3	4	2	3	4	4	2	4	4	3	1	38	7	3	3	3	2	1	2	3	2	2	3	4	2	30
8	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	3	43	8	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	17
9	5	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	43	9	2	2	3	2	3	3	3	2	1	2	3	2	28
10	2	3	2	1	3	3	3	2	2	2	1	2	26	10	1	1	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	20

11	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	1	3	24	11	1	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	18
12	4	4	2	4	5	2	3	2	3	2	3	2	36	12	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	2	2	19
13	2	2	4	4	3	3	3	3	4	3	2	2	35	13	1	1	3	3	3	3	1	1	3	2	3	3	27
14	3	3	3	4	4	4	5	5	3	3	4	3	44	14	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	43
15	4	4	3	4	4	4	5	5	4	3	5	4	49	15	1	2	4	4	3	1	2	1	3	3	3	2	29
16	4	4	3	3	4	4	4	5	4	4	4	3	46	16	1	1	2	4	2	3	2	2	2	3	2	1	25
17	2	2	3	4	3	3	2	3	4	3	2	2	33	17	3	3	3	4	3	3	1	2	2	3	2	4	33
18	3	3	4	3	3	2	4	3	3	3	3	2	36	18	3	3	4	3	3	2	4	3	3	3	3	2	36
19	3	3	3	3	2	2	3	4	3	2	2	2	32	19	2	2	3	2	2	2	2	1	2	2	4	3	27
20	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	33	20	4	4	3	3	2	3	4	4	4	4	2	4	41
21	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	1	3	24	21	1	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	18
22	4	4	2	4	5	2	3	2	3	2	3	2	36	22	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	2	2	19
23	2	2	4	4	3	3	3	3	4	3	2	2	35	23	1	1	3	3	3	3	1	1	3	2	3	3	27
24	3	3	3	4	4	4	5	5	3	3	4	3	44	24	4	4	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	43
25	4	4	3	4	4	4	5	5	4	3	5	4	49	25	1	2	4	4	3	1	2	1	3	3	3	2	29
26	4	4	3	3	4	4	4	5	4	4	4	3	46	26	1	1	2	4	2	3	2	2	2	3	2	1	25
27	2	2	3	4	3	3	2	3	4	3	2	2	33	27	3	3	3	4	3	3	1	2	2	3	2	4	33
28	3	3	4	3	3	2	4	3	3	3	3	2	36	28	3	3	4	3	3	2	4	3	3	3	3	2	36
29	3	3	3	3	2	2	3	4	3	2	2	2	32	29	2	2	3	2	2	2	2	1	2	2	4	3	27
30	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	33	30	1	2	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	21
31	3	3	1	3	4	3	4	3	4	3	4	3	38	31	3	2	2	1	4	3	4	3	3	3	3	3	34
32	3	2	1	3	3	4	5	3	4	3	4	2	37	32	3	2	2	1	3	3	3	3	3	3	3	2	31
33	3	3	3	4	4	4	2	3	3	3	3	4	39	33	2	3	2	2	2	3	2	3	3	1	3	4	30
34	3	2	1	4	3	4	4	3	2	3	1	3	33	34	3	2	1	2	3	4	4	3	2	3	1	3	31
35	5	3	3	2	4	3	5	5	4	4	4	3	45	35	2	4	4	2	2	2	2	2	3	3	3	3	32
36	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	3	1	40	36	2	2	4	2	2	2	2	1	3	3	2	4	29
37	4	4	3	1	3	4	4	2	4	3	4	2	38	37	2	3	4	2	1	2	3	2	3	3	3	2	30

Nº	SISTEMA METROPOLITANO													Nº	SISTEMA DE BUSES CONVENCIONALES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	V1D2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	V2D2
38	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3	3	43	38	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	17
39	3	3	3	4	3	3	4	4	5	4	4	3	43	39	1	2	3	2	3	3	3	2	2	2	3	2	28
40	2	2	1	2	3	3	3	2	2	3	2	1	26	40	1	1	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	20
41	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	3	1	40	41	2	2	4	2	2	2	2	1	3	3	2	4	29
42	4	4	3	1	3	4	4	2	4	3	4	2	38	42	2	3	4	2	1	2	3	2	3	3	3	2	30
43	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3	3	43	43	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	17
44	3	3	3	4	3	3	4	4	5	4	4	3	43	44	1	2	3	2	3	3	3	2	2	2	3	2	28
45	2	2	1	2	3	3	3	2	2	3	2	1	26	45	1	1	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	20
46	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2	1	3	24	46	1	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	18
47	4	4	2	4	5	2	3	2	3	2	3	2	36	47	4	4	2	2	4	4	3	4	3	4	4	3	41
48	2	2	4	4	3	3	3	3	4	3	2	2	35	48	1	1	3	3	3	3	1	1	3	2	3	3	27
49	3	3	3	4	4	4	5	5	3	3	4	3	44	49	2	2	2	4	2	2	3	2	3	3	2	4	31
50	4	4	3	4	4	4	5	5	4	3	5	4	49	50	1	2	4	4	3	1	2	1	3	3	3	2	29
51	3	3	1	3	4	3	4	3	4	3	4	3	38	51	3	2	2	1	4	3	4	3	3	3	3	3	34
52	3	4	5	3	3	2	1	3	3	4	5	3	39	52	3	2	2	1	3	3	3	2	3	3	3	3	31
53	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	53	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
54	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	54	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31
55	4	3	5	5	5	3	3	2	4	3	5	5	47	55	2	4	4	2	3	3	3	3	2	2	2	2	32
56	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	44	56	2	2	4	2	3	3	2	4	2	2	2	1	29
57	3	4	4	2	4	4	3	1	3	4	4	2	38	57	2	3	4	2	3	3	3	2	1	2	3	2	30
58	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	45	58	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	17
59	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	41	59	1	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2	28
60	3	3	3	2	2	2	1	2	3	3	3	2	29	60	1	1	2	2	1	1	2	2	3	2	2	1	20
61	4	4	4	5	4	4	3	3	4	4	4	5	48	61	1	1	2	4	2	3	2	1	2	3	2	2	25
62	3	3	2	3	2	2	3	4	3	3	2	3	33	62	3	3	3	4	2	3	2	4	3	3	1	2	33
63	3	2	4	3	3	3	4	3	3	2	4	3	37	63	3	3	4	3	3	3	3	2	3	2	4	3	36
64	2	2	3	4	3	3	3	3	2	2	3	4	34	64	2	2	3	2	2	2	4	3	2	2	2	1	27
65	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	35	65	1	2	3	3	1	1	2	2	2	2	1	1	21
66	3	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	25	66	1	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	18

67	5	2	3	2	4	4	2	4	5	2	3	2	38	67	1	1	2	2	3	2	2	2	1	1	1	1	19
68	3	3	3	3	2	2	4	4	3	3	3	3	36	68	1	1	3	3	3	2	3	3	3	3	1	1	27
69	4	4	5	5	3	3	3	4	4	4	5	5	49	69	2	2	2	4	3	3	2	4	2	2	3	2	31
70	4	4	5	5	4	4	3	4	4	4	5	5	51	70	1	2	4	4	3	3	3	2	3	1	2	1	29
71	4	3	4	3	3	3	1	3	4	3	4	3	38	71	3	2	2	1	3	3	3	3	4	3	4	3	34
72	3	4	5	3	3	2	1	3	3	4	5	3	39	72	3	2	2	1	3	3	3	2	3	3	3	3	31
73	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	73	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
74	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	74	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31
75	4	3	5	5	5	3	3	2	4	3	5	5	47	75	2	4	4	2	3	3	3	3	2	2	2	2	32
76	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	44	76	2	2	4	2	3	3	2	4	2	2	2	1	29
77	3	4	4	2	4	4	3	1	3	4	4	2	38	77	2	3	4	2	3	3	3	2	1	2	3	2	30
78	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	45	78	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	17
79	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	41	79	1	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2	28
80	3	3	3	2	2	2	1	2	3	3	3	2	29	80	1	1	2	2	1	1	2	2	3	2	2	1	20

Evaluación de la eficiencia del Sistema Metropolitano (BRT) respecto al Sistema de Buses Convencionales

aplicando el Principio de Wardrop

Nº	SISTEMA METROPOLITANO													Nº	SISTEMA DE BUSES CONVENCIONALES												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	V1D2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	V2D2
81	3	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	25	81	1	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	18
82	5	2	3	2	4	4	2	4	5	2	3	2	38	82	1	1	2	2	3	2	2	2	1	1	1	1	19
83	3	3	3	3	2	2	4	4	3	3	3	3	36	83	1	1	3	3	3	2	3	3	3	3	1	1	27
84	4	4	5	5	3	3	3	4	4	4	5	5	49	84	2	2	2	4	3	3	2	4	2	2	3	2	31
85	4	4	5	5	4	4	3	4	4	4	5	5	51	85	1	2	4	4	3	3	3	2	3	1	2	1	29
86	4	3	4	3	3	3	1	3	4	3	4	3	38	86	3	2	2	1	3	3	3	3	4	3	4	3	34
87	3	4	5	3	3	2	1	3	3	4	5	3	39	87	3	2	2	1	3	3	3	2	3	3	3	3	31
88	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	88	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
89	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	89	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31
90	4	3	5	5	5	3	3	2	4	3	5	5	47	90	2	4	4	2	3	3	3	3	2	2	2	2	32
91	4	4	5	5	3	3	3	4	4	4	5	5	49	91	2	2	2	4	3	3	2	4	2	2	3	2	31

92	4	4	5	5	4	4	3	4	4	4	5	5	51	92	1	2	4	4	3	3	3	2	3	1	2	1	29
93	4	3	4	3	3	3	1	3	4	3	4	3	38	93	3	2	2	1	3	3	3	3	4	3	4	3	34
94	3	4	5	3	3	2	1	3	3	4	5	3	39	94	3	2	2	1	3	3	3	2	3	3	3	3	31
95	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	95	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
96	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	96	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31
97	4	3	5	5	5	3	3	2	4	3	5	5	47	97	2	4	4	2	3	3	3	3	2	2	2	2	32
98	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	44	98	2	2	4	2	3	3	2	4	2	2	2	1	29
99	3	4	4	2	4	4	3	1	3	4	4	2	38	99	2	3	4	2	3	3	3	2	1	2	3	2	30
100	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	45	100	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	17
101	4	4	4	5	4	4	3	3	4	4	4	5	48	101	1	1	2	4	2	3	2	1	2	3	2	2	25
102	3	3	2	3	2	2	3	4	3	3	2	3	33	102	3	3	3	4	2	3	2	4	3	3	1	2	33
103	3	2	4	3	3	3	4	3	3	2	4	3	37	103	3	3	4	3	3	3	3	2	3	2	4	3	36
104	2	2	3	4	3	3	3	3	2	2	3	4	34	104	2	2	3	2	2	2	4	3	2	2	2	1	27
105	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	35	105	1	2	3	3	1	1	2	2	2	2	1	1	21
106	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	106	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
107	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	107	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31
108	4	3	5	5	5	3	3	2	4	3	5	5	47	108	2	4	4	2	3	3	3	3	2	2	2	2	32
109	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	44	109	2	2	4	2	3	3	2	4	2	2	2	1	29
110	3	4	4	2	4	4	3	1	3	4	4	2	38	110	2	3	4	2	3	3	3	2	1	2	3	2	30
111	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	45	111	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	17
112	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	41	112	1	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	2	28
113	3	3	3	2	2	2	1	2	3	3	3	2	29	113	1	1	2	2	1	1	2	2	3	2	2	1	20
114	3	2	2	2	2	2	1	2	3	2	2	2	25	114	1	1	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	18
115	5	2	3	2	4	4	2	4	5	2	3	2	38	115	1	1	2	2	3	2	2	2	1	1	1	1	19
116	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	116	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
117	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	117	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31
118	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	35	118	1	2	3	3	1	1	2	2	2	2	1	1	21
119	4	4	2	3	3	3	3	4	4	4	2	3	39	119	2	3	2	2	3	1	3	4	2	3	2	3	30
120	3	4	4	3	3	2	1	4	3	4	4	3	38	120	3	2	1	2	2	3	1	3	3	4	4	3	31