

PLANEACIÓN DE SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO BRT CON APLICACIÓN DE SOFTWARE DE MACROSIMULACIÓN VISUM

¹Eliana Lizeth Forero Prieto, Deysi Esmeralda Leguizamón Chacón & Sebastián Molina Barajas, Estudiantes de Ingeniería Civil Universidad La Gran Colombia, Colombia

²elianalizeth.forero@ulagrancolombia.edu.co, deysiesmeralda.leguizamon@ulagrancolombia.edu.co & sebastian.molina@ulagrancolombia.edu.co

³Nancy Cifuentes Ospina IC Mg en Ing. Civil con Énf. En Tránsito y Transporte. Docente Universidad La Gran Colombia, nancy.cifuentes@ugc.edu.co & Mary Luz Parra Gómez Mag. Docente de investigación, Universidad La Gran Colombia, mary.parra@ugc.edu.co

Resumen: Este artículo presenta una revisión bibliográfica de documentos de investigación sobre planeación de transporte y temas que lo componen como redes, movilidad, capacidad, demanda, infraestructura y modelación de transporte; A partir de ellos se hace énfasis en el mejoramiento de la planificación de sistemas, resaltando factores que determinan su eficiencia como la movilidad, la capacidad, la demanda, la estructura y la implementación de sistemas de transporte masivo como el BRT que en su desarrollo aporta un nivel de servicio de calidad en las redes de transporte. Como herramienta en la ejecución de la planeación de sistemas de transporte se propone el uso del software de modelación PTV VISUM en el que se integran todas las variables que componen la red y permite evaluar su funcionamiento bajo distintos escenarios haciendo posible la toma de decisiones modelando diferentes soluciones como restricciones de entrada a zonas específicas del caso de estudio, reconfiguraciones en los horarios e integraciones de sistemas de transporte masivo con el fin de dar fluidez a la movilidad y lograr que el sistema en su totalidad tenga la capacidad de expandirse, ser accesible y adaptarse a los cambios que demande el continuo crecimiento y desarrollo de una ciudad.

Palabras clave– Planeación, Movilidad, Brt, Transporte, Modelación Visum.

Abstract: This article presents review of research papers on topics transportation planning as networks, mobility, capacity, demand, infrastructure and transport modeling. From them focus on improving systems planning is done, highlighting factors that determine its efficiency and mobility, capacity, demand, structure, implementation of mass transit systems such as BRT in its development creates a level of quality service in transport networks. As a tool in implementing planning transportation systems use modeling software PTV VISUM in which all the variables that make up the network are integrated and can evaluate their performance under different scenarios enabling decision making modeling it is proposed different solutions as restrictions on entry to specific areas of the case study, reconfigurations times and integrations mass transit systems in order to give fluidity to mobility and make the whole system has the capacity to expand, be accessible and adapt to changes that requires the continued growth and development of a city.

Keywords- Planning, Mobility, Brt, Transportation, Modeling Visum.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este artículo es presentar una revisión a diferentes documentos bibliográficos de investigación, que revelan la problemática de planeación en la movilidad de varias ciudades del mundo y como a partir de estudios se ha dado el mejoramiento de la planificación implementando la aplicación de sistemas como el Bus Rapid Transit – BRT y el uso de software de macro simulación como el PTV VISUM que permite simular patrones de solución disminuyendo las inconsistencias que se pueden presentar en los sistemas de transporte.

Según Víctor Cantillo [1] el concepto de planificación de transporte se basa en todo un proyecto que se desarrolla a partir de estudios que dan a conocer las variables necesarias como: demandas presentes y futuras de movilidad de personas y material, así como aspectos de infraestructura existente y aspectos ambientales entre otros, por tanto la planificación pretende que un sistema de transporte se adapte a las necesidades reales de una ciudad y su continuo crecimiento.

Las ciudades están aún en proceso de consolidación y grandes grupos humanos se han ido desplazando desde las zonas rurales en busca de mejores condiciones de vida; la demanda de infraestructura y servicios es grande y los métodos de

planificación utilizados no se han adaptado a las necesidades cada vez más crecientes de las ciudades; Es por esto que se da la "expansión urbana" debida a la transferencia de actividades del centro a la periferia y se acompaña de una serie de consecuencias económicas, sociales y medioambientales. Uno de los efectos de la urbanización es el desarrollo de la infraestructura vial y la formación de la llamada "ciudad dormitorio", que necesita una conexión razonable con otras partes de la ciudad.

Uno de los factores que debe resultar de un buen ejercicio de planeación es la movilidad que ha sido definida por Hanson y Giuliano, como la "habilidad de moverse entre los diferentes sitios de la actividad" [2], según Juliana Gómez Quintero [3] se utilizan como indicadores comunes del nivel de movilidad, el tiempo que le toma a una persona viajar de un punto a otro o el número de viajes que una persona realiza al día.

La movilidad es uno de los ejes centrales en donde se presentan los conflictos más relevantes de los sistemas en grandes ciudades del mundo y se ha convertido en un factor importante para la planeación de los sistemas de transporte masivos; en la mayoría de ciudades suburbanas la complejidad del desplazamiento hacia las capitales principales indica una falta de conexión entre los residentes de los suburbios quienes con regularidad viajan a sus escuelas, puestos de trabajo, lugares de entretenimiento, y la ciudad, lo que implica un problema de movilidad. Otro aspecto que influye en la movilidad según Sansaka Sirivadidurage and Chris White, [4] es el ingreso como un factor importante de acuerdo al modo en que la gente viaja, las personas de acuerdo a su nivel de ingreso económico, se desplazan por distintos medios de transporte, por ejemplo; aquellos que tienen altos ingresos se mueven principalmente en automóvil, si sus ingresos son medios viajan principalmente en medios de transporte públicos como autobuses, colectivos y tienen opción de tomar taxi, mientras que las personas de bajos ingresos que no cuentan con la posibilidad de tomar un medio de transporte particular se movilizan en su mayoría en los sistemas de transporte público y si este no cumple con sus necesidades optan por ir en bicicleta recorriendo largas distancias para llegar a su destino.

Aunque cada usuario se transporte de acuerdo a su capacidad adquisitiva, la mayor parte de la demanda la representa la población con menos recursos económicos por esto los medios de transporte públicos pueden no ser efectivos al momento de atender la demanda de las ciudades. La falta de servicios de transporte público de calidad, tiene un alto impacto sobre la competitividad económica, el bienestar del medio ambiente y la realización de la equidad social de la ciudad.

Por lo anterior, el propósito es mejorar la movilidad para sectores de la población que no cuenta con medios propios para transportarse, por tanto se requiere implementar un plan

de acción que permita el desplazamiento de las poblaciones según su origen y destino. Aunque existen innumerables opciones o medios para que ocurran dichos desplazamientos, como sistemas de movilización económicos, por ejemplo: caminar, el uso de la bicicleta y sistemas de transporte público, estos no cumplen con la demanda requerida por los usuarios.

Sumado a esto, los recorridos son cada vez más extensos, y se hace necesario pensar en sistemas con mayor efectividad como por ejemplo el BRT, la implementación de este tipo de sistemas puede proporcionar grandes beneficios económicos para los países donde sean establecidos, a través del éxito temprano de los BRT en los países desarrollados y las aplicaciones posteriores en América del Sur en países como Brasil y Colombia, proporciona una oportunidad para introducir grandes redes de transporte urbano que abordan necesidades de accesibilidad de gran número de personas, enfocándose en las poblaciones de bajos y medios recursos, quienes son en su mayoría los usuarios de los sistemas masivos. [5]

Con referencia a lo anterior, se deben crear estrategias de planeación si se pretende una correcta operación y mejoramiento de la movilidad, teniendo en cuenta factores como la oferta y demanda, horarios, usos del suelo, rutas, estructura física del sistema, niveles de servicio, matrices de origen y destino, tiempos de viaje, frecuencias, índice poblacional a corto, mediano y largo plazo al que están expuestas las ciudades en desarrollo.

Una de las técnicas empleadas para la planeación del transporte con el fin de evitar conflictos a futuro son las modelaciones, estas permiten simular las variables que afectan a un sistema de transporte masivo como el BRT proporcionando seguridad, calidad y niveles de servicio óptimo, garantizando así que no colapsen las arterias principales de las ciudades y por ende que no exista afectación en la productividad y desarrollo de las mismas, teniendo en cuenta que una mala planeación incurrirá en mayores costos de parque automotor, de infraestructura vial y en general en la pérdida de los recursos de cualquier ciudad.

Daniel Rodríguez y Erik Vergel Tovar [6] explican que las ciudades de América latina han liderado la implementación de sistemas de transporte Público Masivo de Autobuses tipo BRT, un modo de transporte que generalmente se caracteriza por el desarrollo de infraestructura que da prioridad al transporte público en relación con el transporte en otros tipos de vehículos, ofrece la posibilidad de pagar la tarifa antes de tomar el autobús y permite un rápido acceso al mismo, además los sistemas BRT proporcionan al usuario oportunidades de movilización más cómoda y rápida por medio de la provisión de la infraestructura adecuada para ello, esta debe ser regida por los estándares de calidad acoplados al The BRT standard

2013 documento que proporciona los parámetros de cumplimiento para posterior calificación del sistema. Figura 1.

Figura 1 Modelo de sistema BRT en Curitiba (Brasil) adecuado con la configuración de diseño infraestructural de dos carriles alineados para cada sentido.



Tomado de: <http://goo.gl/2CRKHn>

Figura 2 Modelo de sistema BRT Transmilenio en Bogotá (Colombia) adecuado con la configuración de diseño infraestructural de dos carriles alineados para cada sentido, con vinculación al sistema en estaciones centrales.



Tomado de: <http://goo.gl/00mdqk>

Para optimizar la planificación de sistemas masivos de transporte se implementa la macro simulación mediante el software como el PTV VISUM, que ha sido creado para el análisis de tránsito, planificación y gestión de datos, reproduciendo una red completa en donde se encuentran las variables que componen una planeación.

El Software PTV VISUM modela la red de manera real con datos recopilados a partir de aforos y censos poblacionales que reflejan el índice de usuarios y vehículos de las vías públicas y sus interacciones, siendo una herramienta confiable para la planificación de transporte. Modela redes de transporte y demanda de viajes, permite analizar cambios del tránsito previstos, planificar servicios de transporte masivo y desarrollar avanzadas estrategias y soluciones de transporte.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este artículo se realizó la revisión de 31 documentos bibliográficos, 17 en inglés y 14 en español, por medio de la búsqueda en bases de datos como Scencedirect, Scopus, proquest, google docs, bibliotecas y documentos en medios magnéticos, los documentos encontrados fueron adquiridos con palabras claves como transportation planning, simulation, modeling transport, Bus Rapid Transit, Visum, mobility, así como infraestructura vial, Red de transporte, oferta y demanda, entre otras. Posterior a ello se clasificaron dichos documentos por medio de una matriz temática planteada para ello.

Las temáticas abordadas durante este artículo como planeación de transporte, movilidad, infraestructura vial, sistemas de transporte masivos, BRT y software de modelación PTV VISUM fueron en un momento determinado un caso de estudio en los documentos referenciados en este artículo.

III. PLANIFICACIÓN DE TRANSPORTE

Víctor Cantillo [1] expresa que el propósito de la planeación debe ser mejorar el sistema para satisfacer la demanda, racionalizando el manejo de los recursos. En consecuencia, los organismos técnicos encargados deberán encaminar su gestión hacia objetivos generales como los siguientes:

- Gestionar procesos que permitan el desarrollo coordinado de sectores específicos de la ciudad, que garanticen la accesibilidad y realización de proyectos de tipo social.
- Asegurar el uso eficiente de recursos con el fin de mejorar o sostener condiciones ambientales y de hábitat de la ciudad.
- Brindar seguridad a los usuarios y comunidad en general mediante una infraestructura adecuada.
- Beneficiar la movilidad de sectores específicos de la población como los usuarios de transporte público, personas con discapacidad y peatones.

El proceso de planificación de proyectos debe trazarse a corto y largo plazo y exige que se establezca una jerarquización de los objetivos, debido a la incertidumbre que genera la falta de conocimiento de las variables que inciden en el transporte.

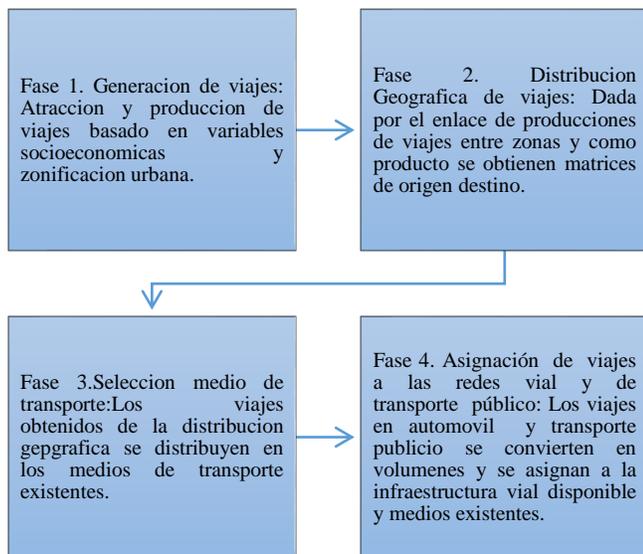
La propuesta de planificación del autor Víctor Cantillo está basada en dos premisas fundamentales:

IV. MOVILIDAD

- a. Se deben considerar todos los medios de transporte auto, bus, taxi, colectivos y todos los elementos que hagan parte del sistema como personas, mercancías, equipos e infraestructura, de esta manera el sistema de transporte deberá ser tratado como un sistema multimodal donde se involucren Todos los movimientos a través de él, para cada flujo específico y el viaje total desde el origen hasta el destino.
- b. Establecer una relación directa entre el sistema de transporte y el sistema de actividades. El sistema de transporte consta de las tecnologías, redes, vías, vehículos y políticas de operación, administradas por organismos públicos y privados que lo gerencia, planifican, diseñan, construyen y operan. El sistema de actividades se refiere a la localización, tipo y tamaño de las actividades de la ciudad y a los hábitos o patrones sociales que determinan la distribución espacial y temporal de dichas actividades que finalmente son el patrón inicial que vislumbra el alcance de un sistema de transporte. Esta relación entre los sistemas de transporte y de actividades representa la estructura de los flujos de tránsito en un momento determinado teniendo en cuenta que a medida que el tiempo transcurre se generan cambios en términos de actividades de producción y servicios previstos por el transporte y por incrementos poblacionales, lo que conlleva a que el sistema de transporte responda adecuándose o anticipándose para que su fluidez permanezca.

En varias ciudades del mundo se diseñan manuales que son utilizados en la planificación de redes de transporte masivo; teniendo en cuenta las consideraciones anteriores en Colombia se describen las Fases generales de la planeación en la Figura 3

Figura 3 Fases Generales de la Planeación



Fuente: Víctor Cantillo, Propuesta de una nueva metodología para la planificación de Transporte Urbano [1]

La utilización del término de “movilidad”, tiene que ver con la capacidad de las personas para moverse en un espacio geográfico y social [7] siendo uno de los factores principales para las propuestas de sistemas de planeación de transporte, debido a que permite conocer e incorporar las variables como el nivel geográfico, económico y social en la distribución espacio-temporal, que permiten obtener resultados claves para la asignación de rutas que logren satisfacer las necesidades de los usuarios que circulen de manera permanente en el sistema.

V. TRANSPORTE PÚBLICO

El transporte público hace parte de un conjunto de movilidad urbana, por lo que se define como un sistema de medios (infraestructuras y vehículos) para llevar personas de un lugar a otro de la ciudad. [8] Puede ser suministrado tanto por empresas privadas como por públicas.

El objetivo del transporte público se caracteriza por mejorar las condiciones de circulación de los vehículos para la formación de sistemas eficientes, seguros y de acceso fácil a todas las personas; durante varios años se han desarrollado y puesto en práctica en un intento de aumentar la clientela de tránsito, sistemas de transporte masivos que incluyen nuevas tecnologías como los BRT implementados en Curitiba (Brasil) y Bogotá (Colombia), países que fueron pioneros en estructuración y puesta en marcha de este tipo de sistemas, con el fin de proponer una solución a la creciente congestión del tráfico.

VI. SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO

De acuerdo, con lo establecido en el Decreto 3109 del año 1997 de la ciudad de Bogotá (Colombia), plantea como definición de transporte masivo de pasajeros toda combinación organizada de infraestructura y equipos, cuya finalidad es la formación de un sistema integrado que cubra un alto volumen de pasajeros y de respuesta a un porcentaje significativo de las necesidades de movilización urbana. [9]

Como objetivos principales de los sistemas de transporte masivo se destacan; la transformación de la estructuración empresarial vinculando directamente a los propietarios de los vehículos para unificación de tarifas y remuneración económica, reordenamiento de rutas existentes, construcción de corredores exclusivos para el sistema, desarrollo esquemático de operación con parque automotor nuevo acorde con los niveles de demanda y tecnología avanzada amigable con el ambiente, disminución de tiempos de viaje, mejoramiento de los usos del espacio público e impulso del desarrollo urbano integral. [10]

Alrededor del mundo existen numerosos sistemas integrados de transporte masivo, algunos ejemplos de ellos se pueden observar en la Figura 4, la cual muestra las diferentes tarifas y modos de transporte que se han implementado en distintas partes del mundo, sobre todo en América Latina.

Figura 4 Sistemas integrados de transporte de algunos países de América Latina



Fuente: <http://goo.gl/Hib8ib>

VII. RED DE TRANSPORTE SISTEMAS MASIVOS

Según Emilio Larrodé Pellicer, Jesús Gallego Navarro y Alberto Fraile Del Pozo [11] plantean como definición de red de transporte, “una infraestructura necesaria para la circulación de los vehículos que transportan personas o mercancías. Suelen estar dispuestas en el territorio conectando los núcleos de población o de actividad industrial, de tal manera que se cree una red de diferente densidad dependiendo del tráfico generado en la zona”.

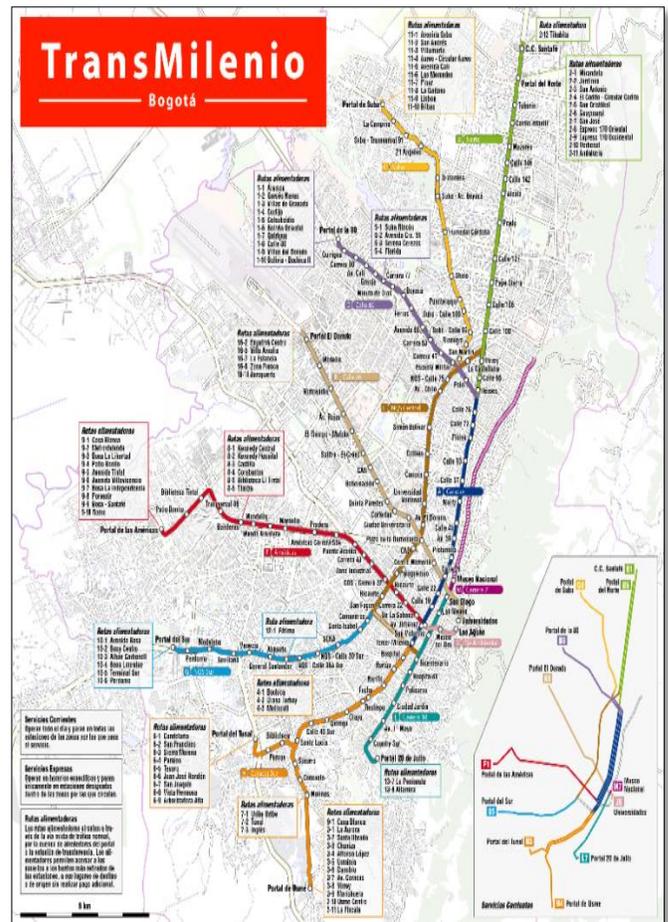
Las redes de transporte reflejan en su mayoría el índice económico de los países, debido a que se debe tener tanto potencial económico, como organizacional para tener la capacidad de transportar personas o mercancías que por ella circulan diariamente, la existencia de unas u otras redes de transporte, o la densidad para que estén diseñadas las mismas, viene determinada por una serie de factores condicionantes, ya sean histórico-políticos del pasado; o naturales, a causa de los accidentes geográficos; o espaciales, dependiendo de la ubicación de los principales núcleos de actividad. De acuerdo a ello, las redes de transporte se toman como representaciones esquemáticas de la infraestructura vial y los itinerarios de rutas de la ciudad para la cual serán diseñadas e implementadas, zonificadas por su cartografía digital.

Nodos y arcos

Los nodos y arcos de la red vial esquemática representan a las intersecciones y los tramos viales, respectivamente, de la infraestructura vial. Las características geométricas (sección transversal, número de carriles, pendiente longitudinal, etc.) son aproximadamente constantes en un arco dado. [12]

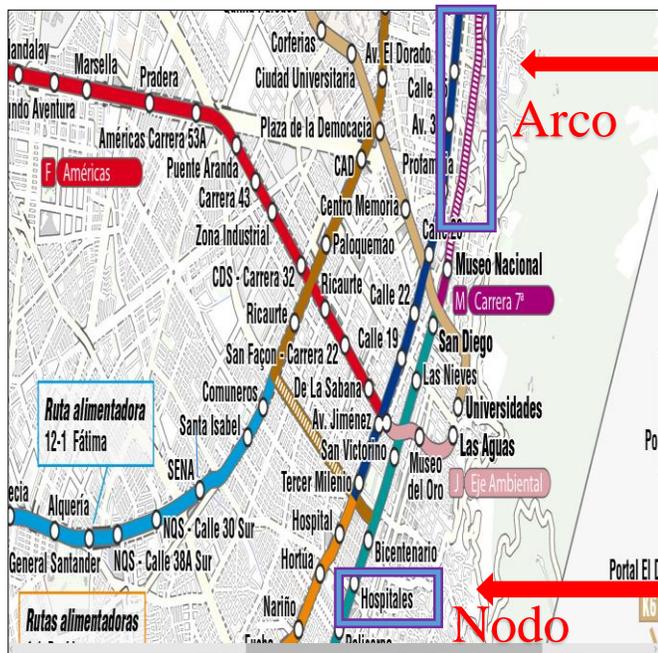
En las redes de transporte los nodos son representados usualmente por un círculo y los arcos son representados por una línea donde la cabeza es el destino, y la cola el origen estos podrían ser directos o indirectos, por ejemplo en Colombia se puede identificar la red de transporte con nodos y arcos en la planteadas en las figuras 5 y 6 donde se aprecia los nodos como círculos que significan paradas dentro de la red del sistema BRT Transmilenio y los arcos representados por los colores rojo, azul, café, morado y naranja los que significan el trayecto o recorrido de los buses.

Figura 5 Representación esquemática de la red de transporte del Sistema BRT Transmilenio en Bogotá Colombia.



Fuente: <https://goo.gl/DTztCq>

Figura 6 Ampliada de la Representación esquemática de la red de transporte del Sistema BRT Transmilenio, en Bogotá Colombia



Fuente: <https://goo.gl/DTztcq>

VIII. OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE

Para el caso del transporte, la oferta hace alusión “al servicio proporcionado para el movimiento rápido de las personas en una región urbana. Éste puede ser realizado en vehículos particulares o en unidades de transporte público. Una característica particular de la oferta de transporte es que se trata de un servicio y no de un bien. El servicio de transporte debe ser “consumido” en el mismo momento y sitio en que es “producido”, ya que de lo contrario se pierde su beneficio. Por tal motivo, es muy importante que la oferta de transporte se adapte continuamente a la demanda” [12]

La demanda se define como un “deseo” de viajes, las decisiones de las personas sobre los trayectos que deben efectuar como parte de sus actividades cotidianas conducen directamente a una “demanda” [12], la demanda también puede ser definida como la disposición a pagar que tiene un usuario para hacer uso de determinada infraestructura o servicio de transporte, por ello se puede deducir que el concepto de demanda deriva directamente de la necesidad de los viajes de los usuarios para desplazamientos a sus lugares cuyo trayecto es obligatorio, de acuerdo a las actividades de desempeño y no netamente por el deseo de realizarlos; Para establecer el número de rutas a utilizar en un sistema de transporte es decir la oferta, previamente se deberán conocer los itinerarios más frecuentes de los usuarios, la naturaleza del servicio y el tipo de unidades requeridas, lo que puede variar.

Por otra parte desde el punto de vista de la planeación del transporte, es necesario predecir los flujos que se presentarán en el sistema para diferentes situaciones. Al respecto, se requiere conocer el comportamiento humano para poder pronosticar la demanda de transporte.

IX. INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE

Según lo señalan Alberto Domínguez Sanabria, José María Díaz y Pérez de la Astra [13] “Las infraestructuras de transporte constituyen uno de los elementos fundamentales para el desarrollo regional”, puesto que estas permiten una modificación directa de las condiciones de accesibilidad de los territorios por los que atraviesan e indirectamente la de los adyacentes, lo que ofrece nuevas y mejores oportunidades de desarrollo a aquellos territorios que no cuentan con la conexión adecuada para la accesibilidad hacia los centros de las ciudades.

En efecto la importancia de la incorporación del entorno en el que se desenvuelve la movilidad o, más específicamente, del territorio sobre el que se desarrollan los procesos de movilidad son cada vez más relevantes [14], por ello es necesario tener en cuenta para el desarrollo de la infraestructura vial los servicios del sistema, es decir, que la infraestructura desarrollada sea capaz de suplir con toda la demanda, esta debe brindar facilidad de acceso, cruce seguro para el usuario, espacio público acorde con las necesidades de los usuarios y confort.

La construcción e implementación de grandes obras de infraestructura de transporte requiere en primer lugar, disponer de un consolidado capital financiero a corto plazo en el que se vean reflejadas las ganancias a largo plazo. [14]

Selección de corredores

Generalmente son escogidos basándose en la demanda de pasajeros, las ventajas de la red, las características de la vía, la facilidad de implementación, costos, consideraciones políticas y equidad social. En la fase inicial de un proyecto de sistema masivo como el BRT, si se quiere implementar, se deben elegir corredores que den servicio a orígenes y destinos populares de tal manera que demuestren la utilidad de la tecnología y el desarrollo que proporciona este sistema a una ciudad. [15]

Capacidad del sistema y velocidad

En términos de efectividad el usuario siempre espera que un servicio de transporte masivo que compita con su medio de transporte privado, sea aquel que lo supere en términos de tiempo de viaje, comodidad, costo y seguridad. Por ello

diseñar un sistema que tenga la capacidad de transportar un alto volumen de usuarios de forma rápida, cómoda y segura afirma la capacidad de un servicio y su competitividad frente a los automóviles. [15]

Intersecciones y control de señales

Las intersecciones representan un punto crítico de cualquier corredor BRT. Se debe diseñar con los datos necesarios para que esta sea de calidad y las fases semafóricas deben tener un alto grado en su calibración, de lo contrario un mal diseño de intersecciones y calibración de semaforización podría reducir la capacidad del sistema sustancialmente haciendo que su efectividad disminuya.

La eficiencia de la intersección también estará influenciada por la localización de la estación del sistema BRT y con ayuda de un software como PTV VISUM, se puede realizar el ejercicio de simular las posibles soluciones para que una intersección no sea crítica en un momento dado, de esta manera se puede ubicar la estación cerca de la intersección, o en medio de la cuadra, si es que el tráfico mixto hace un giro en la intersección y así será simulado y corrido el programa para observar el comportamiento, en caso que exista un conflicto evaluar la mejor solución y tomar las decisiones de ubicación espacial adecuadas en el momento de diseñar la red.

X. MODELACION DE TRANSPORTE

La red de interés se modela con base en las intersecciones viales como unidad estructural y funcional básica de análisis. En una intersección, en cada instante de tiempo, los móviles (vehículos y peatones) definen su posición y velocidad en los diferentes tipos de espacios, teniendo en cuenta su entorno y su comportamiento individual. Las intersecciones se pueden conectar entre sí gracias a zonas compartidas, en las que se da el flujo de móviles entre ellas. A partir de este concepto, es factible construir modelos que pueden crecer manteniendo una complejidad computacional acotada por las intersecciones más complejas. [16]

XI. MODELO DE SIMULACIÓN

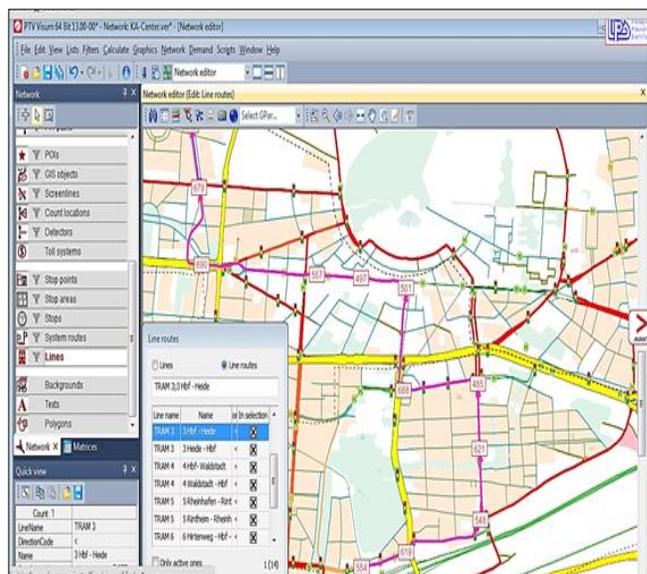
De acuerdo, al Autor William Romero, El modelo representa un sistema dinámico discreto y tienen por objetivo reproducir comportamientos macroscópicos basados en interacciones microscópicas.

La representación del espacio y la evolución del sistema se realizan a partir de unidades discretas. El espacio se representa a través de una malla de celdas regulares a partir de esta malla, una intersección se define como un conjunto de celdas que conforman la geometría de la red.

La figura 7 representa una red en donde se encuentran trazados los tramos críticos y los tramos de solución propuestos,

además se definen tramos que eviten el tráfico y ofrezcan fluidez a la movilidad.

Figura 7 Representación espacial del modelo de simulación



Fuente: <http://goo.gl/npWyd9>

Cada una de las celdas que conforman las vías modeladas tienen un conjunto de atributos (estructurales y funcionales) como: posición, tipo (espacio peatonal, espacio Vehicular, etc.), direcciones esperadas (sentidos que diferentes tipos de móviles deberían moverse) y estado (óptimo, hueco, deterioro).

La unión de los diferentes subconjuntos de móviles (vehículos de transporte público, vehículos de transporte privado, peatones, etc.) conforman la población del sistema. Para ser modelado.

XII. SIMULACIÓN DE TRÁFICO

Szymon Fierek y Jacek Zak [5] definen la simulación como “una técnica de investigación de operaciones popular y eficaz utilizada para analizar una amplia gama de sistemas dinámicos cambiantes basado en teorías de (Sokolowski y Bancos, 2009).” Del mismo modo expresan que la esencia de la simulación es llevar a cabo una serie de experimentos computacionales, utilizando diversos datos de entrada introducidos en un modelo de simulación que describe las operaciones del sistema real para generar un conjunto de datos de salida que lo caracteriza para evaluar el sistema que se desee, en este caso podría usarse un software que permita evaluar un sistema como el Transmilenio de Bogotá, el objeto sería llevar el sistema masivo de transporte a un estudio y posterior evaluación de su comportamiento en cuanto a

movilidad, con el fin de detectar sus falencias y establecer estrategias de solución para su óptimo funcionamiento. La simulación permite comprobar, supervisar y evaluar el comportamiento del sistema real bajo diferentes condiciones habituales de viajes de una ciudad en un ordenador artificial, por ejemplo con el software PTV VISUM se pueden generar alternativas y soluciones para los sistemas de transporte masivos y se han llevado a cabo fases para modelar todas las variantes de la integración del sistema de transporte urbano en el área metropolitana, incluyendo:

- Generación de viaje: Donde se construyen las zonas de tráfico reconociendo su potencial de viaje así como la definición de orígenes de viajes de los pasajeros en cada zona de la red.
- Distribución de viaje ofrecido por la determinación de viajes de todos los pasajeros entre cualquier par de zonas.
- I (orígenes - O) y (j destinos - D). El resultado de este paso es una construcción de una matriz OD completa.
- Modo de elección se concentra en la asignación de los viajes previamente definidos a los modos de transporte existentes.
- Asignación de ruta que consiste en la asignación de la distribución de la matriz OD a la red de transporte, el cual se traduce en la generación del volumen de pasajeros y los vehículos de los flujos en los enlaces particulares de la red. [5]

XIII. SOFTWARE DE MODELACION PTV VISUM

Es una herramienta de modelación macroscópica que mediante el análisis del tránsito y la gestión de datos basado en SIG (Sistema de información geográfica), aporta al mejoramiento de la planeación estratégica de transporte público, modelando de manera efectiva redes con todos los factores que influyen en su composición, teniendo en cuenta los cambios de tránsito previstos y generando estrategias de optimización en la movilidad de las ciudades. Es un sistema usado en la planificación de la infraestructura de metrópolis, regiones, provincias y estados, para modelar redes de transporte público y privado o redes multimodales de transporte. [17]

El objeto de un software como PTV VISUM es dar una visión a priori del comportamiento de un sistema con los datos recopilados que caracterizan la zona de estudio, una vez ingresados los datos es posible estudiar las condiciones reales de una ciudad a nivel de tránsito mediante la modelación, así la aplicabilidad de ésta herramienta será mitigar puntos críticos detectados en la movilidad de la red que se esté trabajando, para atender las problemáticas que se generen el sistema Visum debe haber ejecutado los siguientes factores:

Perfil de redes de transporte privado caracterizadas (velocidad flujo libre, capacidad, función flujo-demora) conecta a las zonas.

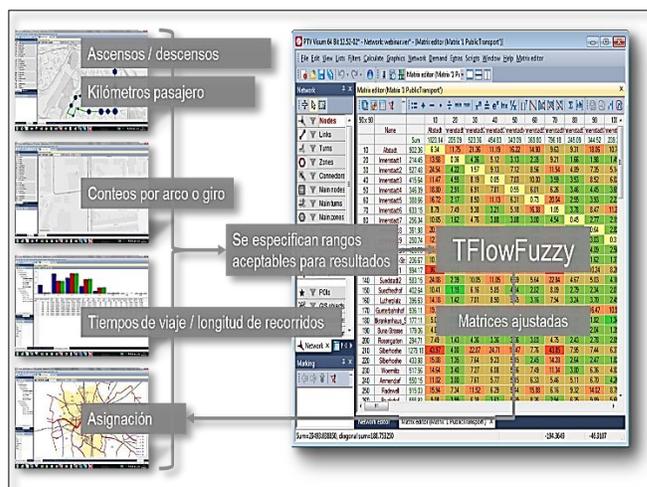
- Perfil de redes de transporte público caracterizadas (rutas, paradas, perfiles de tiempo, intervalos, entre otros) conecta a las zonas.
- Demanda expresada como matriz de viajes entre las zonas.
- Distintos métodos de asignación, que en general buscan minimizar un costo generalizado.
- Se definen funciones de costo generalizado, desde simplemente tiempo hasta cualquier combinación de factores
- Fase de calibración: análisis de resultados en red, tablas o matrices.

PTV VISUM es una herramienta de uso fácil, con variedad de funciones disponibles, algunas de ellas pueden identificarse como:

- Asignación basada en intervalos o en horarios, incluyendo restricción de capacidad.
- Modelo de datos compatible con tablas horario externas (importación).
- Pueden modelarse desde los más sencillos a los más complejos sistemas de tarifas.
- Información de rutas se guarda para análisis post-asignación.
- Ajuste de matrices con una gran cantidad de criterios disponibles.
- Es posible reflejar niveles de confianza en información especificando rangos.
- También disponibles proyecciones sencillas.

En la figura 8 se muestra el funcionamiento de las diferentes herramientas y fases que presenta la plataforma del Software Ptv Visum, que se deben tener en cuenta al momento del análisis en la modelación.

Figura 8 Muestra del funcionamiento de las diferentes herramientas del software PTV Visum



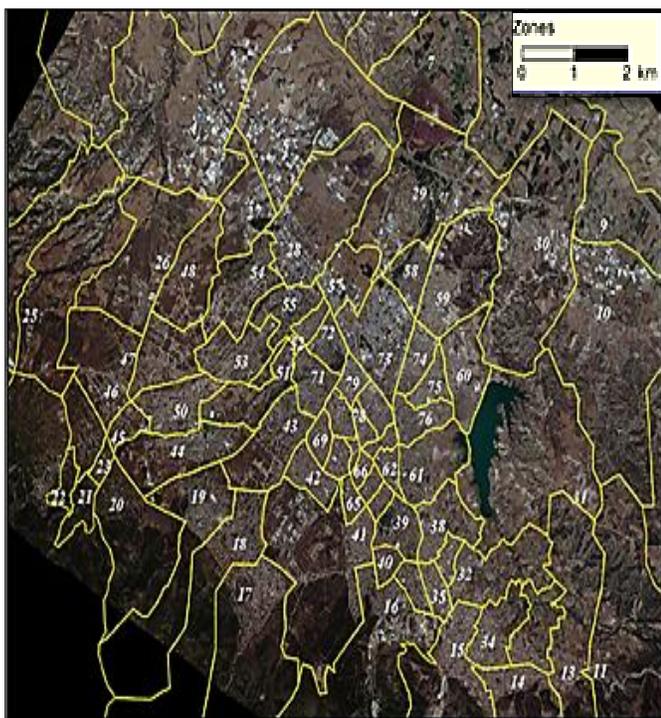
Fuente: Seminario de internacional de aplicación de modelos en la planeación de transporte Unam Mexico2015. [17]

XIV.CASO DE APLICACIÓN PTV VISUM

G. Gulham, H. Ceylan, M. Ozuysal and H. Ceylanlas [18] mencionan que las mejoras adquiridas por una nueva instalación de transporte público urbano (UPT-Urban public transit) o por una política de operación sigue siendo un desafío en el proceso de toma de decisiones con respecto a la planificación del transporte y que a pesar de que algunos indicadores, como la calidad del servicio, la relación de uso de la capacidad, los kilómetros de servicio, la cantidad de pasajeros o asientos utilizados, son tenidos en cuenta por los planificadores y los responsables políticos, estos no siempre reflejan la cantidad total de viajes requeridos. Por lo tanto se realizó un estudio que tiene como objetivo evaluar las medidas de accesibilidad tomándola como indicador de rendimiento en el proceso de planificación de un sistema de transporte público.

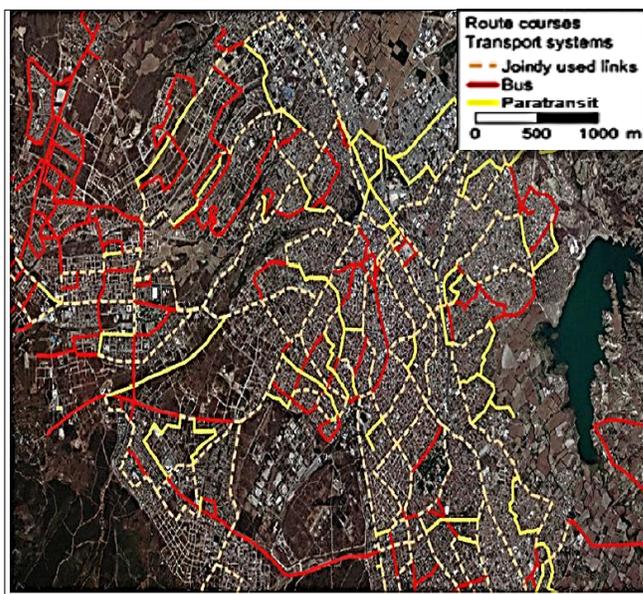
La zona estudiada fue la ciudad de Denizli, situada en la parte suroeste de Turquía, esta ciudad se caracteriza por ser industrial y con una población de más de 500.000 habitantes en los distritos centrales. Todos los 80 distritos de la ciudad (TMP, 2010) se consideraron zonas de análisis. La figura 9 muestra la estructura zonal de la ciudad y la figura 10 muestra la red de carreteras para los sistemas de autobuses y transporte informal en Denizli, Turquía. Mediante PTV VISUM.

Figura 9 Estructura zonal de Denizli, Turquía



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Turkey. [18]

Figura 10 Red de carreteras para los sistemas de autobuses y transporte informal en Denizli, Turquía



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli [18]

El estudio realizado se basó en la accesibilidad, como concepto se refiere a la facilidad de llegar a bienes, servicios, actividades y destinos, por esto tiene un grado mayor de importancia en la ciencia del transporte y es uno de los conceptos articulados con frecuencia en la planificación de los sistemas de transporte masivos. Este concepto puede verse también como la simplicidad del uso del sistema que es lo que lo hace ser atractivo para los usuarios. En consecuencia, puede tener un potencial considerable para la aplicación de modelos de demanda de viaje, ya que se centra en la utilidad de las actividades de transporte.

En el caso de aplicación se modelaron tres escenarios que constan de 1. Regulación de horarios, 2. Centro de restricción en el distrito de negocios o centro de la ciudad y 3. La integración de los autobuses de tránsito rápido BRT; Se evaluaron desde el punto de vista de la accesibilidad, además de los indicadores convencionales obtenidos mediante el uso de la demanda de viajes PTV VISUM software de modelado.

Modelación Caso De Aplicación

El objetivo de los autores fue ofrecer un modelo eficaz de planificación de transporte público urbano y presentar posibles medidas que deben aplicarse teniendo en cuenta el nivel de los componentes de la utilidad basada en la accesibilidad y el desarrollo del estudio se generó mediante el siguiente proceso paso a paso:

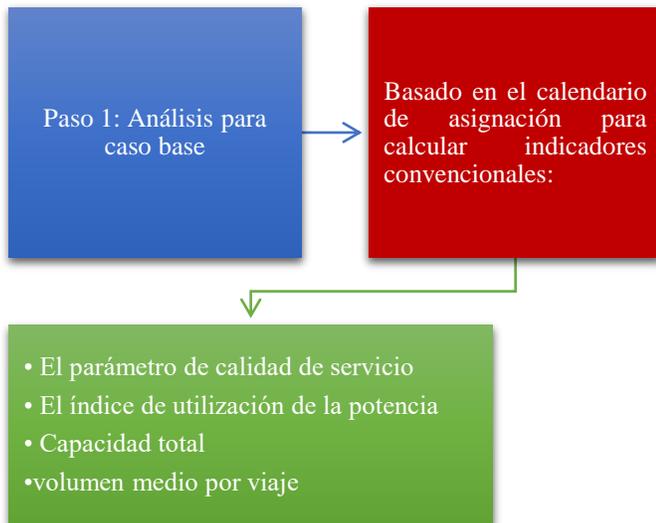
Figura 11 Pasos Desarrollo de Estudio Caso de Aplicación



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Paso 1. Se generaron los indicadores convencionales mediante expresiones matemáticas y tablas basadas en tiempos-horarios haciendo uso de la demanda de viajes obtenida en el modelo de PTV VISUM.

Figura 12 Paso No 1 Desarrollo de Estudio Caso de Aplicación



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Los indicadores convencionales obtenidos hacen referencia a los siguientes datos: (Tabla 1)

Tabla 1 Indicadores convencionales

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
Q	Representa el parámetro de calidad de servicio
P _{max}	El número máximo de pasajeros observado durante el periodo de análisis
F	Es la frecuencia de las salidas de bus
S	Es el número de asientos en el vehículo de servicio
M Y N	Son el número de rutas de autobús y transporte alterno, respectivamente.
U	Representa la proporción de uso de la capacidad (%)
PK	Es el número total de kilómetros de pasajeros cubierta en la ruta de autobús
SK	Es el servicio total kilómetros recorridos durante el período de análisis
c	Es la capacidad total de los vehículos de llevar pasajeros de pie durante el periodo de análisis
D	representa el volumen medio por viaje
C	representa la capacidad total, que es el total de asientos y capacidad permanente de los conjuntos de vehículos para todas las secciones de recorrido

Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Análisis de caso base

En Denizli la forma de uso de la tierra en el centro de negocios de la ciudad no es adecuado para la velocidad de flujo de alto tráfico, la velocidad es muy baja debido al núcleo histórico que allí se encuentra y el aparcamiento que se genera en las vías junto con la urbanización irregular que se ha generado con el pasar de los años.

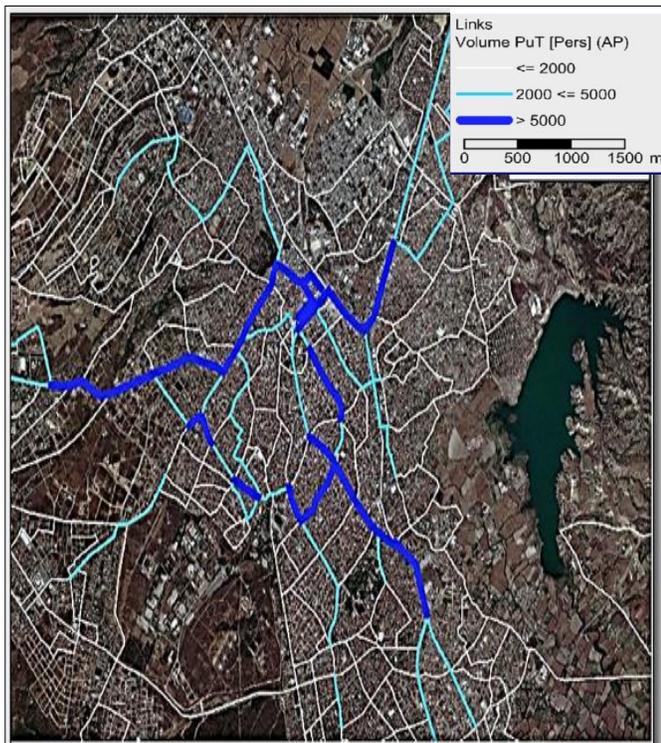
Una asignación basada en el cronograma se realiza por la mañana las horas pico (07:00 a 09:00) para obtener la planificación convencional del sistema de transporte. El intervalo de tiempo mencionado se denominada el Periodo de Analisis (AP) en el estudio. Los enlaces, intersecciones, las rutas y la matriz Origen-Destino demanda de más de 80 zonas se introducen en el software PTV VISUM. y se obtiene una ilustración gráfica de los resultados de asignación basado en horario con respecto al número de pasajeros transportados en cada ruta durante el periodo de analisis

El parámetro de calidad de servicio se calcula para cada ruta y la media es de 1,45 pasajeros por asiento. Aunque la carga máxima programada son típicamente 125-150% de la

capacidad de asientos de autobús, un valor entre 150% y 180% puede ser aceptable.

Varias líneas de autobuses ofrecen menos confort y un ratio de utilización de la capacidad más alta o con exceso. Por lo tanto se puede concluir que existen una gran cantidad de autobuses que deben ser regulados o disminuidos ya que diversas mejoras en el sistema de transporte público de la ciudad son necesarias, según lo indicado en la figura 13, en donde se resalta el volumen de pasajeros transportados circulantes en el centro de la ciudad en horas pico durante el periodo de análisis generando un flujo lento en la movilidad.

Figura 13 La asignación basada en Horarios Resultados para AP.

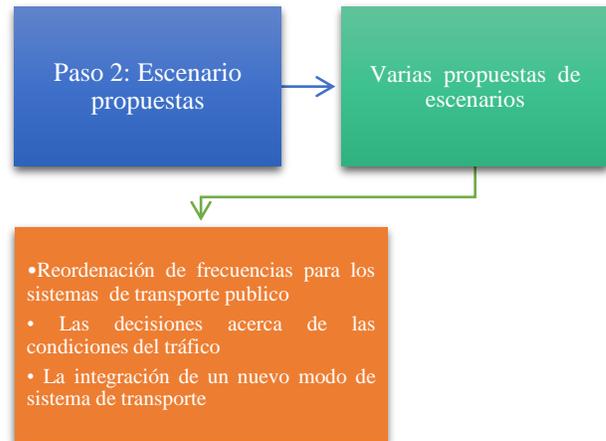


Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Paso 2. Luego de realizarse el análisis del caso base en donde se reconfiguraron los horarios se genera una nueva situación y es la de la alta capacidad que ofrecen los autobuses públicos, por tanto se proponen varios escenarios con el objeto de disminuir el uso excesivo de vehículos de transporte público, con el fin de superar los problemas de frecuencia del servicio en el Distrito Central de Negocios (CDB) y mejorar la movilidad recuperando esta zona esencial para la ciudad. Para este propósito, en el caso de estudio se realizaron nuevos gráficos horarios, se implementó una nueva restricción de área para vehículos de transporte público y se propone una

fase de buses de tránsito rápido (BRT), trazada por puntos álgidos de la ciudad.

Figura 14 Paso No 2 Desarrollo de Estudio Caso de Aplicación



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

En la figura 15 se delimita el área de restricción con el fin de que en la zona no circulen los buses de transporte público para lograr un mejoramiento en la movilidad del centro de la ciudad.

Figura 15 frontiers de restricción de entrada del CDB para vehículos de transporte informal



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

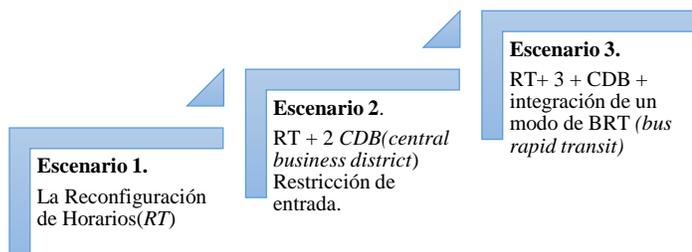
Paso 3. Análisis para escenarios e integrados de sistemas: Las encuestas de hogares y el tren indicaron que el sistema de autobuses ofrecen un bajo nivel de comodidad y los vehículos de transporte informal causan la congestión del tráfico en el centro de negocios de la ciudad (CBD-central business district) como se determinó en el paso 2, en la búsqueda de soluciones se generan tres escenarios mediante la evaluación de las encuestas y las decisiones de planificación elaborada por la autoridad local, como se identifica en la figura 17

Figura 16 Paso No 3 Desarrollo de Estudio Caso de Aplicación



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Figura 17 Escenarios Generados



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Escenario 1: Se realizó la reconfiguración del calendario, tipos y salida de los vehículos de transporte público, los factores de carga se toman 1.8 pasajeros por asiento para los sistemas de bus y transporte alterno, respectivamente. Debido a que hay poca demanda en varias zonas y los sistemas de transporte público deberán servir con frecuencias más bajas. Por lo tanto, se ajusta el intervalo mínimo de salidas del autobús a 30 min con base a los estándares de servicio.

Escenario 2: La reconfiguración del calendario con restricción de entrada al centro de la ciudad o corazón de Denizli, llamado " ciudad vieja ", ha de mitigar la congestión del tráfico y los retrasos que hacen que los ciudadanos estén insatisfechos con tantos vehículos privados y el servicio del transporte público. Por otra parte, el uso del suelo de la zona no es conveniente

para viajar cómodamente por eso se prevé que la restricción de entrada de vehículos de transporte informal en el centro de la ciudad también promueva el tránsito de peatones quienes deben tener acceso a todos los puntos de la zona dentro de un rango de 400 m, la cual es una distancia a pie aceptable para acceder a los servicios que sean implementados.

Escenario 3: Reconfiguración del calendario + restricción de entrada al centro de la ciudad + la integración de una fase de sistema de transporte masivo BRT. Teniendo en cuenta la densidad de la demanda de viajes en las áreas comerciales, residenciales, educativos y recreativos, dando accesibilidad a las principales áreas de la ciudad en su mayor extensión; El trazado de la línea por donde pasara el BRT y las paradas se planifican introduciendo en el modelo VISUM la ruta crítica establecida por demanda de viajes y una asignación de horario se realiza para el escenario. Se supone que el sistema BRT tiene una velocidad media de 40 km con frecuencias de 5 min con vehículos con una capacidad de pasajeros de 175. Los resultados de asignación mostraron que el sistema BRT llevaría 3.293 pasajeros durante el período pico de la mañana.

En la figura 18 se refleja el trazado final de la fase del BRT a implementar, cuya trayectoria hace accesible al sistema a lo largo de la ciudad, con paradas planificadas estratégicamente, combinando de esta forma un sistema de transporte convencional con un sistema de transporte masivo de buses rápidos y ampliando así la oferta del sistema integrado al dar más opciones para movilizarse en menor tiempo a los usuarios.

Figura 18 BRT Ruta y Paradas



Fuente: Gulham, Gorkem; Ceylan, Huseyin; Ozuysal, Mustafa; Ceylan, Halim, Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denizli, Tukey. [18]

Casos de aplicación como este se ven reflejados en ciudades en donde se han implementado medidas similares, es el caso de Bogotá-Colombia donde la planeación del transporte se ha ido transformando a medida que la ciudad ha crecido, en Bogotá se encuentra actualmente en funcionamiento un sistema de transporte masivo BRT denominado TRANSMILENIO, este sistema se basó en la Red Integrada de Transporte de la ciudad de Curitiba, cuenta actualmente con 3 fases compuestas por 10 troncales que cubren la mayoría de las arterias principales de la ciudad, desde su implementación la ciudad ha tenido cambios favorables a nivel de infraestructura y ofrece la posibilidad de hacer amplios recorridos en menor tiempo que el que hace algunos años ofrecía el sistema de transporte convencional o autobuses públicos, en cuanto al parque automotor existente antes de llegar Transmilenio, la alcaldía se ha encargado de reemplazarlos por vehículos con mayor tecnología y menos impacto ambiental con el objetivo de generar un sistema integrado que logre responder a la demanda de esta ciudad en crecimiento y en proceso de desarrollo.

Como conclusión de este caso de aplicación cabe resaltar todo el proceso de planeación que se debe llevar a cabo mediante la recolección de datos que caracterizan una ciudad en términos de tránsito y la inclusión que debe existir en cuanto a todos los medios de transporte existentes en un caso de estudio, de esta manera se pueden tomar decisiones en un momento determinado que den solución a problemas de movilidad, capacidad o demanda dentro de una red, con el uso de un software como PTV VISUM, dichas soluciones se modelan para generar proyección en el desarrollo a nivel cultural y de infraestructura en una ciudad. Medidas como la reconfiguración de horarios, la restricción de entrada de una zona específica y la integración de un nuevo sistema de transporte masivo, en este caso el BRT, son determinantes para que los usuarios tengan un alto grado de accesibilidad a todos los bienes y servicios que debe ofrecer el transporte dentro de una ciudad.

XV. CONCLUSIONES

- Durante la revisión de los documentos se establece un factor común denominador que no es más que la necesidad de mejorar día a día la planeación del transporte y factores determinantes dentro de esta, como lo es la movilidad, con el fin de llevar a las ciudades a un nivel de desarrollo en donde los usuarios encuentren en términos de sistemas de transporte masivos la calidad del servicio, la seguridad y la comodidad deseada, en busca de una mejor calidad de vida.
- El propósito principal del transporte es acceder a actividades, bienes o servicios. Por consiguiente, las ciudades siempre requerirán de una infraestructura adecuada como una medida de rendimiento en el

transporte, además de un fácil acceso a cualquier sistema que se plantee, lo que resalta la importancia de centrarse en la perspectiva de la accesibilidad como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la planeación de un sistema de transporte masivo.

- La implementación de sistemas de transporte masivos como el BRT logra adherirse a una red incluyendo durante una correcta planeación todos los medios de transporte existentes, lo que genera un mayor grado de confianza para la evolución y desarrollo a nivel de infraestructura de cualquier ciudad.
- La tecnología con el pasar de los años ha hecho aportes valiosos mediante software de modelación como el PTV VISUM, para que ciudades en continuo crecimiento puedan desarrollar estrategias que permitan un balance entre el aumento del índice poblacional y la capacidad de servicio de los sistemas de transporte masivos y red en general, logrando en varios casos que en la medida que las ciudades crezcan los sistemas se adapten y logren una operación satisfactoria atendiendo la demanda oportunamente.

XVI. AGRADECIMIENTOS

Es importante para nosotros agradecer el apoyo, la colaboración y dedicación que nos brindaron los profesionales encargados de realizar la revisión técnica y metodológica, la Ingeniera Civil Nancy Cifuentes Ospina y la Docente Mary Luz Parra Gómez, quienes oportunamente intervinieron con sugerencias esenciales en la estructuración y enfoque de este artículo, así como al Ingeniero Civil Alejandro Saniger Gerente Técnico de PTV América Latina, quién aportó su conocimiento en el software y algunos papers para la estructuración del documento, a la Universidad Autónoma de México UNAM y la Universidad La Gran Colombia quienes por su alianza estratégica permitieron el desarrollo del Seminario internacional de aplicación de modelos en la planeación de transporte, siendo una experiencia gratificante para nosotros y nuestro desarrollo profesional.

Principalmente a Dios y a nuestras familias que nos acompañaron de manera incondicional en el proceso de formación como profesionales en la Ingeniería Civil.

XVII. REFERENCIAS

- [1] V. Cantillo, «Propuesta de una nueva metodología para la planificación del transporte urbano,» Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte., 1995.
- [2] S. Hanson y G. Genevieve, «The Geography of Urban Transportation,» Guilford Press, 2004.

- [3] J. Gomez quintero , «El Problema de la Movilidad Urbana Y su Compresion Desde el punto de Vista Evolutivo,» 2005.
- [4] S. Sirivadidurage y C. White, «Improving Accessibility Needs Trough Brt In emerging Economies An South African Example,» Asociacion for European Transport And Contributors, 2012.
- [5] S. Fierek y J. ZAK, «Planning of an integrated urban transportation system based on macro – simulation and MCDM/A methods,» sciencedirect, 2012.
- [6] D. A. Rodriguez y E. Vergel Tovar, «Sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) y desarrollo urbano en América Latina,» LincolN institute of Land PoLicy, 2013.
- [7] L. M. Jimenez Herrero, «Transporte y movilidad, claves para la sostenibilidad .,» Lichnos, 2011.
- [8] M. Porto Schettino, «Transporte público urbano,» Ciudades Para Un Futuro Mas Sostenible, 2007.
- [9] Secretaria General de la Alcaldia Mayor de Bogota, «Decreto 3109 de 1997,» 1997.
- [10] Consejo Nacional de Política Económica y Social Republica de Colombia Departamento Nacional de Planeacion, «Política Nacional de Transporte Urbano Masivo,» 2003.
- [11] E. Larrodé Pellicer, J. Gallego Navarro y A. Fraile del Pozo, «Optimizaciòn de Redes De Transporte,» Lychnos, 2011.
- [12] Secretaria de Transito y Transporte, «Manual de Planeacion y Diseño para la administracion de transito y Transporte,» 2005.
- [13] A. Dominguez Sanabria, J. M. Diaz y Perez De La Lastra, «Las Infraestructuras Terrestres: Instrumento para la Integraciòn de las areas perifericas en el resto del territorio.,» Universidad De Cantabria, 2007.
- [14] J. A. Florez Rangel, «Infraestructura carretera: construcción,financiamiento y resistencia en Mexico y America Latina,» Revista Transporte y Territorio, 2015.
- [15] C. Arias , A. Castro, W. Colombini Martins, P. Custodio y K. Fjellstrom, «Guia de Planificacion de Sistemas BRT, Autobuses de Transito Rapido,» 2010.
- [16] w. Romero, J. T. Hernandez, J. C. Ibarra y S. Ordoñez, «Plataforma de simulaciòn y visualizaciòn para el apoyo al análisis y toma de decisiones en proyectos de movilidad urbana,» Tecnica Revista de ingenieria, 2009.
- [17] Universidad Autonoma de Mexico, «Seminario de internacional de aplicaciòn de modelos en la planeaciòn de transporte,» 2015.
- [18] G. Gulham, H. Ceylan , M. Ozuysal y H. Ceylan, «Impact Of Utility-Based accessibility measures on urban public transportation planning: A case study of Denzili, Tukey.,» Cities, 2013.