



A través de los años el ser humano ha pretendido mejorar su calidad de vida lo que lo ha llevado entre otras cosas, a facilitar y/o a hacer más seguras las labores de la vida cotidiana, muestra de ello fue la creación de la máquina con lo que se dio un gran paso en la era tecnológica y que a su vez detonó la revolución industrial, que si bien no mejoró las condiciones de vida de la población en ese momento, logró impregnar al ser humano la necesidad de realizar experimentos para aprender más sobre la naturaleza, los materiales y el comportamiento del ser humano desarrollando así prácticamente todas las ciencias. A partir de este desarrollo es como se ha incrementado la calidad de vida del ser humano, pues es con ayuda de las ciencias que se logran resolver problemas en beneficio de la humanidad.

Uno de los resultados de la necesidad del ser humano por mejorar en diversos aspectos es el nacimiento de las ingenierías, que son la aplicación de un conjunto de ciencias que le han permitido al hombre generar técnicas y métodos para la creación y la mejora de tecnologías e infraestructura que propician la prosperidad de las condiciones de vida de la población. Puesto que la infraestructura juega un papel fundamental en el desarrollo de una nación, es de vital importancia enfatizar en la necesidad de generar más instalaciones y de mejor calidad para garantizar en alguna medida el crecimiento de un país. Es por ello que desde hace ya varios años en algunos países se han dado a la tarea de realizar investigaciones que proporcionan parámetros para determinar las condiciones de operación y de planeación para determinado tipo de infraestructura y en lo que atañe a esta tesis, la *infraestructura vial*.

La infraestructura del sistema vial es uno de los patrimonios más valiosos con el que cuenta cualquier país, por lo que su magnitud y calidad representa uno de los indicadores del grado de desarrollo del mismo. En los últimos años, con el aumento cada vez mayor del parque vehicular, la circulación en las calles y carreteras se ha tornado más compleja, motivo por el cual, cobra gran importancia la realización de análisis operacionales más detallados de los sistemas viales, donde es precisamente la *INGENIERÍA DE TRÁNSITO*, aquella rama de la ingeniería, la llamada a tratar estos aspectos.

### **Ingeniería de Tránsito**

La Ingeniería de Tránsito es la aplicación de tecnología y de principios científicos para la planificación, diseño funcional, operación, y la gerencia de instalaciones para cualquier modo de transporte con el fin de proporcionar el movimiento seguro, rápido, cómodo, conveniente, económico y ambientalmente compatible, de la gente y de las mercancías.

El objetivo de esta tesis es automatizar los cálculos necesarios para realizar el análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de instalaciones como son los *Segmentos Básicos de Autopistas*, los *Segmentos Trenzados* y las *Rampas* utilizando las metodologías desarrolladas por el *Consejo de*



*Investigaciones del Transporte* (The Transportation Research Board's –TRB's-) de los Estados Unidos de América.

Los parámetros y procedimientos de las metodologías desarrolladas por el Consejo de Investigaciones del Transporte proporcionan una base sistemática y consistente para evaluar la Capacidad y la calidad de Servicio de los elementos individuales fundamentales de los sistemas de transporte (por ejemplo, para varios tipos de infraestructura de transportes). Han sido desarrollados como resultado de un amplio conjunto de estudios de investigación realizados en los últimos cincuenta años. Reflejan la experiencia operativa de Norteamérica y puede que no sean fielmente representativos de las operaciones de la circulación de otras partes del mundo, sin embargo, como se muestra en esta tesis, es posible ajustar y calibrar los modelos presentados a las condiciones de lugares en los que las condiciones sean similares (siempre y cuando se disponga de información tomada en campo que represente las condiciones de operación reales del lugar).

Nótese que el Manual de Capacidad de Carreteras 2000 (HCM2000) no da respuesta a los sistemas de distintas infraestructuras o a la movilidad general. Sin embargo, los resultados de estos análisis pueden ser utilizados como información para la valoración de distintos temas de sistemas muy amplios, tales como la gestión de la congestión.

Mi tesis cubre una explicación de los conceptos fundamentales para Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de tres tipos de instalaciones de flujo continuo como son: *Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas*, del cual se realizó una automatización en MathCad para cada tipo de instalación. A su vez se presentan los principios para poder aplicar las metodologías del *Manual de Capacidad de Carreteras* (HCM) de los Estados Unidos, también se muestra el análisis en forma manual, así como los casos en los que no es aplicable cada metodología. Mi tesis retoma los procedimientos de las metodologías del HCM2000 y automatiza los procesos en MathCad, simulando los cálculos que realiza el HCS (Programa de Capacidad de Carreteras), el cual consta de una sección de ingreso de datos y características de las instalaciones y otra en la que se presentan los resultados del análisis en forma simple y más legible, todo ello de tal forma que se asemeje a un programa comercial.

En el capítulo I, se presentan los conceptos y definiciones que son necesarios para los análisis de las metodologías antes mencionadas, este capítulo también presenta una breve introducción a la teoría de flujo vehicular y las bases sobre las cuales se han desarrollado las metodologías del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos.

El capítulo II muestra el Manual de Capacidad de Carreteras desde sus orígenes y las versiones que se han desarrollado, las principales características de la versión 2000, los Niveles de aplicación y el uso de este Manual en México.

En el capítulo III, se desarrollan los conceptos de Capacidad y Nivel de Servicio, así como las características de cada Nivel de Servicio, a su vez se presentan las condiciones sobre las que se ha desarrollado la teoría de Capacidad y Nivel de Servicio.

El capítulo IV desglosa las bases sobre las que se han desarrollado las metodologías, así como los procedimientos a seguir para realizar el análisis de las instalaciones antes mencionadas; se



presentan los criterios y las ecuaciones para determinar las medidas de eficiencia y se presentan algunos términos de carreteras, así como las características de flujo vehicular.

En el capítulo V, aparece el software que se utilizó para automatizar las metodologías del Manual de Capacidad de Carreteras, siendo éste MathCad; en este capítulo también se presentan algunos aspectos sobre la programación de dichas metodologías en MathCad, como son el uso de *scripts* y el uso de MathCad como herramienta de cálculo.

El capítulo VI muestra la aplicación de la automatización, se realiza el análisis de forma manual y utilizando la automatización desarrollada en MathCad en donde es posible hacer la comparación de los resultados obtenidos.

Por último, se presentan apéndices para las metodologías de cada tipo de instalación en donde se profundizan algunos conceptos que facilitaran la comprensión de cada elemento a analizar.



# OBJETIVO

*El objetivo de esta tesis es integrar las metodologías desarrolladas por el Consejo de investigación del Transporte (TRB) para Segmentos básicos, Segmentos Trenzados y Rampas, que son presentados en el Manual de Capacidad de Carreteras versión 2000 (HCM2000), en hojas de trabajo automatizadas en MathCad, con el fin de contar con una herramienta que facilite el análisis de las instalaciones ya mencionadas; si bien en la actualidad existe un software comercial (Highway Capacity Software - HCS) desarrollado por los mismos autores del HCM 2000, las hojas de trabajo desarrolladas en esta tesis en MathCad para automatizar las metodologías pretenden ser más flexibles, ya que es posible calibrar los procesos para determinar la Capacidad y el Nivel de Servicio y ajustarlos a las condiciones del lugar en donde se desea realizar dichos análisis.*

*Además, con el desarrollo de estas hojas de trabajo no será necesario recurrir a la obtención de una licencia comercial del software HCS o a la obtención del Software por otros medios.*

