**Simposio Internacional de Construcciones**

**Incidencia de la composición vehicular en el nivel de servicio en intersecciones no semaforizadas en Camagüey.**

**Incidence of vehicle composition on the level of service at non-signalized intersections in Camagüey.**

**MSc. Ing. Lorena Rey Céspedes1, Dra. Ing. Ileana Cadenas Freixas2**

1. MSc. Ing. Lorena Rey Céspedes. Universidad de Camagüey, Cuba. lorena.rey@reduc.edu.cu
2. Dra. Ing. Ileana Cadenas Freixas. Universidad de Camagüey, Cuba. ileana.cadenas@reduc.edu.cu

**Resumen:**

En las ciudades y en las cabeceras de provincias en particular son imprescindibles las redes de comunicación y transporte capaces de evacuar el flujo diario de mercancías y personas. En la mayoría de las ciudades actuales se ha expandido la industria automovilística y esto ha generado problemas de vialidad afectando los niveles de servicio y la capacidad en especial en las horas de máxima demanda. En las intersecciones no semaforizdas de la ciudad de Camagüey circulan por las mismas vías que los automóviles las bicicletas, los vehículos de tracción animal que dificultan más los problemas de tránsito existentes provocando accidentes de tránsito. Se ha convertido en una necesidad de la Ingeniería del Tránsito en el país determinar los niveles de servicio en intersecciones con las condiciones reales que tienen las arterias de las ciudades cubanas en la actualidad, con la circulación de bicicletas, coches y estacionamientos laterales en la vía y así determinar cómo influyen estos parámetros en el tránsito. En este trabajo se presentan los resultados de los estudios realizados se presentan en gráficos y tablas que se constituyen en herramientas técnicas científicamente fundamentadas para la toma de decisiones referidas a la incidencia de las bicicletas en los factores que intervienen en el Nivel de Servicio en las intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Camagüey.

***Abstract:***

In the cities and in the heads of counties in particular are indispensable the communication nets and transport able to evacuate the daily flow of goods and people. In most of the current cities he has expanded the automobile transport and this has generated road engineering problems affecting the levels of service and the capacity especially in the hours of maxim it demands. In the unsignalized intersections of the city of Camagüey they circulate for the same roads that the automobiles the bicycles and the vehicles of animal traction that hinder more the existent traffic problems provoking traffic accidents. She has transformed into a necessity of the Engineering of the Traffic in the country to determine the levels of service of intersections with the real conditions that have the arteries at the present time in Cuban cities, with the circulation of bicycles, cars and lateral parking lots in the road and this way to determine how they influence these parameters in the security of the traffic. In this work they show up the results of carried out studies that they are constituted in technical tools scientifically based for the taking of decisions referred to the incidence of the bicycles in the factors that intervene in the Level of Service in the unsignalized intersections of the city of Camagüey.

**Palabras Clave:** Seguridad vial, Tránsito.

***Keywords:*** *Security vial, Traffic*

**1. Introducción**

La ciudad de Camagüey pertenece a una de las primeras villas fundadas por los colonizadores. Con las características de ciudad medieval, desarrolló una trama urbana radio concéntrica, que se mantiene hasta la actualidad. Se creó el núcleo urbano geométricamente y en su entorno un laberíntico entramado de calles. El núcleo urbano ha sido foco del desarrollo económico, político, social y cultural de la ciudad. La peculiar estructura urbana ha determinado que la circulación vial tenga características específicas. Sus principales ejes convergen en el Centro, donde el tránsito se organiza de forma unidireccional, por tener sus principales calles estrechas, tortuosas y manzanas multiformes. (Centro Histórico Urbano de Camagüey, 2009; Camagüey Ciego de Ávila. Guía de Arquitectura y Paisaje, 2009]).

A partir del aumento poblacional y el desarrollo turístico se ha generado un aumento del tránsito vehicular y de peatones, ocasionando implicaciones como: grandes volúmenes de circulación, estacionamiento en la calzada, dificultades en la movilidad dada por diferentes factores que inciden en las vías como son: bicicletas, vehículos pesados, motores, vehículos de tracción animal, afectando la capacidad y los niveles de servicio a los que operan las intersecciones. (Rey 2013).

El carácter negativo que tiene el tránsito sobre las ciudades no se limita solo a la contaminación sonora y del aire, sino que con las características propias de cada lugar conlleva a otros efectos como son el mal uso de los espacios públicos y convivencia inadecuada de peatones y vehículos. La explosión urbana genera problemas de tránsito y colapso circulatorio, especialmente en las horas de máxima demanda produciendo congestionamiento en las intersecciones, afectando los niveles de servicios y la capacidad que operan las vías de circulación discontinua. Por tanto, los estudios científicos actuales se centran en lograr vías sustentables, que respondan a velocidades de circulación cada vez mayores y a tratar de evitar congestionamiento en las intersecciones y disminuir accidentes(Avilés, 1995; Alba,2008).

En las vías de circulación discontinua la mayor parte de las demoras ocurren en las intersecciones. En el caso de estar controladas por señal de Pare o Ceda el paso, el tránsito por la vía principal hace detener el de la vía secundaria, donde la mayoría de los usuarios paran o disminuyen su velocidad y la demora puede incluir o no un tiempo de detención. Como estas demoras determinan la apreciación de los usuarios de la calidad de la circulación es importante cuantificarlas.

La bibliografía técnica especializada recomienda que las infraestructuras operen bajo nivel de servicio C (AASHTO, 2001), que representa condiciones que producen demoras aceptables para el conductor. Los estudios en otros países han demostrado que la menor tasa de accidentes ocurre a esos niveles intermedios de flujo. (Cal, Spíndola,Grisales, 1994; Highway Capacity Manual, 2000;Radelat, 2003). Las metodologías elaboradas y utilizadas a nivel internacional para análisis de Capacidad y Niveles de Servicio no incluyen la circulación de ciclos, ni vehículos de tracción animal, ni admiten la presencia de estacionamientos laterales en los carriles de circulación, es por tanto necesario determinar cómo influyen estos parámetros en el tránsito. Es por esto que para determinar los Niveles de Servicio a los que operan las intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Camagüey, resulta necesario desarrollar estudios que permitan establecer la incidencia de estos factores sobre los parámetros que caracterizan el tránsito.

El **objetivo general** de la investigación es evaluar la incidencia sobre el Nivel de Servicio de intersecciones de vías de un solo sentido de circulación, de diferentes factores presentes en el tránsito de la ciudad.

Los factores que afectan el Nivel de Servicio pueden ser internos o externos. Los externos son aquellos que dependen de la geometría o características físicas de la vía tales como: número y ancho de carriles, distancia libre lateral, pendientes. Pueden ser medidos a una hora conveniente porque no varían. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones de los parámetros de la corriente vehicular tales como velocidad, volumen, composición del tránsito, movimientos direccionales en las intersecciones.

Para poder determinar los Niveles de Servicio en las intersecciones urbanas es necesario realizar un estudio de demora y así analizar los posibles factores que afectan de manera severa esta variable.

**2. Metodología**

Para poder determinar los Niveles de Servicio en intersecciones no semaforizadas es necesario realizar un estudio de demora y así analizar los posibles factores que afectan de manera severa esta variable mediante un programa estadístico llamado STATGRAPHICS.

**Diseño Estadístico.**

Con el objetivo de obtener toda la información necesaria sobre el ensayo, aplicando las técnicas estadísticas, se utiliza el diseño de experimento, que con el menor número de experiencias posibles permite estudiar el efecto de algunas variables en conjunto y define sobre una base científica cuáles de las variables son significativas.

Las características del tránsito de la mayor parte de las intersecciones urbanas difieren de las que se consideran ideales desde el punto de vista de los análisis de capacidad, por ello, es preciso definir factores a tener en cuenta para determinar cómo afectan la capacidad las diferencias que existen entre las condiciones reales y las teóricas ideales.

**Diseño del experimento para el estudio de intersecciones.**

Las características más significativas de las intersecciones en las que se pretenden realizar los estudios de demora en el centro de la ciudad son: el tránsito y el flujo vehicular **(**volumen**)**.

Según conteos preliminares se confirmó que en el horario de máxima demanda existe gran uso de ciclos en algunas vías alcanzando hasta 150 ciclos y 75 motos en intervalos de 15 minutos. Por este motivo se considera que uno de los factores que debe intervenir en el experimento es el "tránsito", que permita definir la incidencia de los vehículos de tracción animal y bicicletas en el Nivel de Servicio de las intersecciones de la ciudad de Camagüey.

La intensidad de vehículos de un carril de una arteria principal no siempre es la misma. Cuando se llega a situaciones próximas a la saturación, el flujo vehicular tiende a aumentar considerablemente. Mientras aumenta el volumen en la vía principal la brecha entre vehículos es menor, por lo que los vehículos de la vía secundaria tienen más dificultad para incorporarse a la vía principal o para atravesarla. Como los vehículos están más tiempo detenidos no es normal que puedan moverse en condiciones de circulación favorable siendo evidente que una brusca interrupción, aunque sea corta, puede producir cola, ya que origina una disminución importante de la capacidad.

A partir de los estudios de volúmenes que se llevaran a cabo en esta investigación y de lo antes expuesto, se decidió tomar como otro factor para el diseño de experimento de intersecciones el "volumen vehicular", ya que en la ciudad existen vías más transitadas que otras y con gran movilidad en cuanto al flujo vehicular.

En función de las características de las vías de la ciudad descritas anteriormente se considera que en el experimento intervienen dos factores: tránsito y volumen, que se aprecian en la figura 1 Representación gráfica del diseño teórico experimental para intersecciones.

****

Leyenda:

Vehículos automotores (VA)

Vehículos automotores y bicicletas (VAB)

Vehículos mixtos (VM)

**Figura 1** Representación gráfica del diseño teórico experimental para intersecciones.

El experimento es un diseño multifactorial. Los factores y niveles quedan definidos como muestra la Tabla 1 Factores y niveles del diseño de experimento paralas intersecciones urbanas de un sentido de circulación.

**Tabla 1** Factores y niveles del diseño de experimento para las intersecciones.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **NIVELES** |
| **FACTORES** | **ALTO (+1)** | **MEDIO (0)** | **BAJO (-1)** |
| **TRÁNSITO** | VM | VAB | VA |
| **VOLUMEN** | ALTO | - | BAJO |

Partiendo de la base de los experimentos se introducen todos los datos en el programa estadístico STATGRAPHICS que es el encargado de ejemplificar desde la matriz hasta los resultados del experimento.

Los experimentos serán ejecutados con una réplica lo que genera doce ensayos. Obtenida la matriz y teniendo la cantidad de intersecciones (doce) se definen según las combinaciones las calles para realizar el estudio En la Tabla 2 se muestra la clasificación de acuerdo a la matriz para el diseño experimental.

**Tabla 2** Clasificación de las intersecciones según la matrizpara el diseño de experimento de intersecciones.

|  |  |
| --- | --- |
| **Vías** | **Combinación** |
| **1. Pobre e/ Tío Perico e Ignacio Agramonte** | -1 +1 |
| **2. Pobre e/ Ignacio Agramonte y San Martín** | -1 +1 |
| **3. Avellaneda e/ San Esteban y San José** | -1 -1 |
| **4. Avellaneda e/ Jaime y San Esteban** | -1 -1 |
| **5. San Martín e/Bembeta y San Ramón** | +1 -1 |
| **6. Gral. Javier de la Vega e/ Cuba y Calle 3ra** | +1 +1 |
| **7. San José e/ San Ramón y Bembeta** | +1 +1 |
| **8. San Ramón e/ Vía férrea y San José** | +1 -1 |
| **9. Rosario e/ Francisquito y San Martín** | 0 -1 |
| **10. López Recio e/ Santa Rita e Ign. Agramonte** | 0 +1 |
| **11. Cisneros e/Ignacio Agramonte y Martí** | 0 -1 |
| **12. General Gómez e/ Lugareño y Cisneros** | 0 +1 |

**Diseño de los estudios de tránsito.**

**Estudio de volúmenes de tránsito.**

Se realizó el estudio de volúmenes de tránsito durante los días martes y jueves, en el horario de 7:00am a 10:00am, ubicando a los observadores en las calles principales para obtener información detallada de los vehículos en la zona de estudio.

**Estudio de Demora.**

El estudio de demora se realiza en la hora de máxima demanda para obtener la demora media de parada de los vehículos en la vía no preferencial.

Se ubicaron dos parejas de observadores por cada intersección analizada, en los puntos seleccionados. Se seleccionaron para el estudio de demora las mismas vías de circulación discontinua definidas en el Diseño de Experimento que cumpliesen con las variables, los factores y niveles especificados.

**3. Resultados y discusión**

**Estudios de Volumen y composición vehicular.**

* La Hora de Máxima Demanda presenta variaciones para cada día y para cada punto de control. En todos los casos fluctúa entre las 7.00 am y las 9.00 am. De forma general la Hora de Máxima Demanda se encuentra entre las 7:30- 8:30am. Se considera que el flujo vehicular en los puntos aforados tiene un máximo que se corresponde con la entrada a los centros de estudio y de trabajo.
* Del análisis del comportamiento del Factor Horario de Máxima Demanda se aprecia que se comporta entre 0,75 y 0,96 lo que evidencia que existe una distribución próxima a ser uniforme con pequeños flujos máximos en períodos cortos dentro de la hora.
* El volumen horario de máxima demanda varía para cada punto y para cada día. En dos puntos de control, con mayor volumen circulan más de 1000 vehículos mixtos en una hora, debido a que por esas vías transita un elevado número de bicicletas. La calle con menor volumen, totaliza alrededor de 200 vehículos mixtos; todas las demás sobrepasan los 300 vehículos mixtos.
* La intensidad horaria es variable con valores que oscilan de 173 a 1731 vehículos mixtos/hora.

De los porcientos de composición vehicular por puntos de aforo se puede concluir:

* El orden en que priman los volúmenes por tipo de vehículos son:
* Ciclos (56-60%)
* Autos (19-22%)
* Motos (15-16%)
* Camiones (2-3%)
* Coches (2-3%)
* Ómnibus (1-2%)

**Análisis de los estudios de Demora.**

**Análisis de los resultados del estudio de demora.**

De los resultados obtenidos se aprecian diferencias en la demora media entre las intersecciones estudiadas.

* La demora total de tiempo parado de los vehículos varía en las diferentes intersecciones. Es significativo el valor que se obtuvo en la intersección San Ramón esquina San Martín con 3330 vehículos. segundos, debido al elevado flujo vehicular que circula por San Ramón, además del alto volumen de bicicletas que por ella transitan.
* La demora media de los vehículos que se paran varía para cada intersección con un comportamiento diferente, al igual que la demora media de parada de todos los vehículos en el afluente. Sin embargo, se identifican dos intersecciones en la calle San Ramón, donde la demora media es superior, debido a las causas explicadas anteriormente.
* El porciento de vehículos que paran fluctúa entre el 84 y 94% en cuatro intersecciones, dos de ellas con la calle San Ramón.
* En las intersecciones General Javier de la Vega-Víctor M. Caballero y Lugareño - San Martín el porciento oscila entre un 47 - 57%.

**Resultados del estudio de Nivel de Servicio en intersecciones.**

Con los resultados de la demora media de los vehículos que se paran se obtuvieron los Niveles de Servicio para las diferentes intersecciones que se presentan en la tabla 3 Nivel de Servicio a que operan las intersecciones.

**Tabla 3** Nivel de Servicio a que operan las intersecciones

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Intersecciones** | **Demora media de los vehículos que se paran.****(DMP)** | **Nivele de Servicio.** |
| **Pobre - Ignacio Agramonte** | 27,45 | D |
| **Pobre - San Martín** | 27,69 | D |
| **Avellaneda - San Esteban.** | 27,58 | D |
| **Avellaneda - San Martín.** | 29,29 | D |
| **Rosario - San Esteban.** | 23,89 | C |
| **Cisneros - General Gómez.** | 31,23 | D |
| **Lugareño - San Martín.** | 26,67 | D |
| **Rosario - Ignacio Agramonte.** | 31,56 | D |
| **López Recio - San Esteban.** | 31,00 | D |
| **San Ramón - San Martín** | 40,12 | E |
| **San Ramón - San José.** | 38,33 | E |
| **Gral. Javier de la Vega-Víctor M. Caballero.** | 28,64 | D |

Los resultados obtenidos del Nivel de Servicio a que operan las intersecciones estudiadas a la hora de máxima demanda permiten asegurar:

* El Nivel de Servicio predominante es el D presente en nueve de las 12 intersecciones estudiadas.
* La intersección Rosario – San Esteban presenta el Nivel de Servicio más bajo con un Nivel de Servicio C.
* El Nivel de Servicio más alto se encuentra en las intersecciones con la calle San Ramón, con un Nivel de Servicio E, puede ser por la presencia de vehículos mixtos en especial la de los vehículos de tracción animal.

**Procesamiento Estadístico de los Resultados del estudio de Nivel de Servicio en intersecciones.**

A partir del diseño de experimento, con variable dependiente "Demora", se le integra al software los valores de demora media de parada en las intersecciones. Con estos datos el programa estadístico es capaz de llegar a resultados específicos que serán mostrados a continuación.

En la tabla 4 Efectos estimados para demora, muestra los valores para cada uno de los efectos evaluados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada efecto, el cual mide su error de muestreo. El factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1,0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

**Tabla 4** Efectos estimados para demora.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Efecto** | **Estimado** | **Error Estándar.** | **V.I.F.** |
| **Promedio** | 29,42 | 1,1668 |  |
| **A:TRANSITO** | 5,4375 | 1,6501 | 1,0 |
| **B:VOLUMEN** | 5,275 | 1,3473 | 1,0 |
| **AA** | 2,6025 | 2,85805 | 1,0 |
| **AB** | 5,3525 | 1,6501 | 1,0 |
| **Bloque** | 1,54167 | 1,3473 | 1,0 |

A continuación, se muestra la figura 2 Diagrama de Pareto Estandarizado para Demora, el cual ilustra la significancia de los factores individualmente y en conjunto.



**Figura 2** Diagrama de Pareto Estandarizado para Demora.

Todo lo analizado anteriormente brinda la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos que se muestran en la Tabla 5. Coeficientes de regresión para demora.

**Tabla 5** Coeficientes de regresión para demora.

|  |  |
| --- | --- |
| **Coeficiente** | **Estimado** |
| **Constante** | 29,42 |
| **A:TRANSITO** | 2,71875 |
| **B:VOLUMEN** | 2,6375 |
| **AA** | 1,30125 |
| **AB** | 2,67625 |

La ecuación del modelo ajustado es:

DEMORA = 29,42 + 2,71875\*TRANSITO + 2,6385\*VOLUMEN + 1,30125\*TRANSITO^2 + 2,67625\*TRANSITO\*VOLUMEN

Donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

**Comprobación de la ecuación de regresión.**

DEMORA (COMBINACIÓN 1) = 29,42 + 2,71875\*(-1) +2,6385\*(-1) + 1,30125\* (-1)2 + 2,67625\*(-1) \*(-1) = 28,04

DEMORA (COMBINACIÓN 2) = 29,42 + 2,71875\*(0) +2,6385\*(-1) + 1,30125\* (0)2 + 2,67625\*(0) \*(-1) = 26,78.

Este procedimiento se realiza para todas las combinaciones descritas en el diseño de experimento.

**Análisis de la incidencia de los factores analizados en el Nivel de Servicio para Intersección.**

* De la ecuación de regresión obtenida se define la significación de los dos factores analizados, tránsito y volumen, sobre el Nivel de Servicio de las intersecciones, así como la combinación de estos.
* El valor absoluto de los coeficientes que determinan la mayor incidencia sobre el Nivel de Servicio pertenece al factor tránsito, que por su signo indica al nivel alto (+1) correspondiente a los vehículos mixtos (Vehículos automotores, bicicletas y vehículos de tracción animal) como el nivel que produce mayor demora.
* El análisis de los resultados obtenidos en la sustitución de los factores (tránsito y volumen) en la ecuación señala que la mayor demora ocurre en la combinación de Vehículos Mixtos para tránsito y con volumen mayor que 810 vehículos mixtos/ h para volumen y que el mejor comportamiento ante la demora se logra con la combinación de Vehículos Automotores y Bicicletas para el factor tránsito y con volumen menor que 810 vehículos mixtos/h para el factor volumen.

**4. Conclusiones**

1. A partir de los estudios de tránsito se obtienen los volúmenes de tránsito y la demora en las intersecciones, que permiten evaluar los niveles de servicio a que operan las vías de circulación discontinua de la ciudad. Los estudios de volúmenes de tránsito permitieron determinar la Hora de Máxima Demanda, Factor Horario de Máxima Demanda, la Composición vehicular y los volúmenes de circulación en las vías.
2. Para evaluar la incidencia de la presencia de ciclos y de vehículos de tracción animal en la corriente vehicular sobre el Nivel de Servicio de las intersecciones se definen como factores a tener en cuenta, tránsito y volumen vehicular, definiéndose los niveles cualitativos.
3. Las mayores demoras se encuentran en la intersección San Ramón esquina San Martín con 40,12 segundo producto del elevado flujo de bicicletas y vehículos de tracción animal que transitan por San Ramón.
4. Los estudios de tránsito realizados permiten evaluar el Nivel de Servicio de intersecciones urbanas a partir de los parámetros técnicos utilizados en la práctica internacional. Predomina el Nivel de Servicio D en la hora de máxima demanda producto del elevado flujo de bicicletas.
5. La ecuación de regresión para el análisis estadístico de los resultados de los estudios de tránsito define la significación de los dos factores, tránsito y volumen, así como su combinación sobre el Nivel de Servicio de las intersecciones. La mayor incidencia pertenece al factor tránsito, que por su signo indica al nivel alto, correspondiente a los vehículos mixtos como el nivel que produce mayor demora.

**5. Referencias bibliográficas**

1. Autores, C. d. (2009). Libro Patrimonio Mundial. Oficina del Historiador de la Ciudad de Camagüey. Camagüey, Camagüey, Cuba: El Lugareño, 2009.
2. Autores, C. d. (2009). Camagüey Ciego de Ávila. Guía de Arquitectura y Paisaje. Sevilla-Camagüey: [s.n].
3. Alba M, Liliana. (2008). Procedimiento para emplazamientos urbanos con alta concentración de accidentes, Ciudad Habana, Cuba. Tesis de Doctorado.
4. Avilés, D. (1995). Enfoque Sistémico de la Contaminación en el Centro Histórico. El caso de Camagüey. Camagüey, Cuba: Tesis Doctorado, Instituto Superior Politécnico J.A. Echevarría.
5. Cal, R., Spíndola, M., & Grisales, J. (2010). Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y aplicaciones. La Habana, Félix Varela.
6. Highway Capacity Manual 2000. (2000). Capacidad y Nivel de Servicio en vías urbanas. Washington, D.C, USA: National Research Council (NRC).
7. Radelat, G. (2003) Principios de Ingeniería de Tránsito. Institute of Transportation Engineers. Washington, DC. USA.
8. Rey, L. (2013). Evaluación de la incidencia del reordenamiento vial en el tránsito en el Centro Histórico de la Ciudad de Camagüey. Tesis de maestría no publicada, Universidad de Camagüey ''Ignacio Agramonte Loynaz'', Camagüey.