

---

## ESTUDIOS DE VELOCIDAD EN TRAVESIAS URBANAS

Mg. Ing. María G. Berardo

Comisión Interdisciplinaria de Seguridad Vial y Accidentología (CISVAC), Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1600. Ciudad Universitaria. Córdoba. Argentina. X 5000 JKP. Tel. (54 351) 468 5079. E-mail: [tberardo@arnet.com.ar](mailto:tberardo@arnet.com.ar)

Ing. Mauro I. Tartabini, Ing. Gustavo D. Vanoli

Ing. Gustavo Vanoli & Asoc. David Luque 404. Barrio General Paz. Córdoba, Argentina. X 5004 AKL. Tel/fax. (54 351) 452 3807, E-mail: [mtartabini@efn.uncor.edu](mailto:mtartabini@efn.uncor.edu), [vanoligus@arnet.com.ar](mailto:vanoligus@arnet.com.ar)

Dr. Ing. Marcelo E. Zeballos

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba. Av. Vélez Sarsfield 1600. Ciudad Universitaria. Córdoba. Argentina. X 5000 JKP. Tel. (54 351) 476 7517. E-mail: [mzeballo@com.uncor.edu](mailto:mzeballo@com.uncor.edu).

### RESUMEN

La importancia de mantener adecuadas condiciones de circulación en travesías puede sintetizarse según datos del Sistema de Información de Accidentes de Tránsito (SIAT) de la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina. Según este registro, el 20% de víctimas fatales de accidentes de tránsito ocurren en travesías urbanas, a la vez que estas representan solamente un 3% de la longitud total de la red (Dirección Nacional de Vialidad, 2005). El presente trabajo muestra los resultados obtenidos de reconocimientos de velocidades de operación detectados en un conjunto de 11 (once) travesías. Las localidades valoradas comprenden áreas urbanas de diversos tamaños, características y condiciones de operación. Se valoran las tendencias medias de comportamientos observados en las travesías y se evalúa que tipo de distribución probabilística se ajusta mejor a las velocidades medidas en campo, verificando la bondad del ajuste que se obtiene utilizando distribuciones teóricas, recomendadas según la bibliografía especializada (distribución Normal y Log Normal).

*Palabras Clave:* Velocidad. Travesías Urbanas.

### ABSTRACT

The importance of maintaining suitable traffic conditions at urban passages can be synthesized according to data from the Traffic Crashes Information System (Sistema de Información de Accidentes de Tránsito – SIAT) of the Argentina Federal Highway Agency (Dirección Nacional de Vialidad - DNV). According to this registry, 20% of fatal traffic accidents victims crashes happen in urban passages, while these represents only a 3% of the overall length of the road network (DNV, 2005). This report shows the results obtained by measuring speeds of operation in a set of 11 (eleven) urban passages. The analyzed towns include urban areas of diverse sizes, characteristics and conditions of traffic operation. The average tendencies of behaviours observed on these urban passages are valued and goodness of fit is tested with theoretical distributions to identify which probabilistic distribution better adjusts to the speeds measured on field, recommended according to the specialized bibliography (Normal and Normal Log distributions).

*Keywords:* Speed. Urban Passages.

## 1. INTRODUCCION

El Decreto Reglamentario de la Ley 8560 (Ministerio de Gobierno, 1999), define la travesía, como una ruta convencional que atraviesa una zona urbana. Para el caso de la ruta convencional (dos trochas), la misma es definida como una calzada única con un carril por sentido de circulación (y un carril adicional en algún tramo), velocidad de proyecto mínima de 80 km/h (100 km/h en terreno llano), calzada de 7,00 m y bermas pavimentadas de 1,50 m como mínimo. Aquellos casos de dudosa clasificación se asimilan a este tipo de vía.

Asimismo, el Decreto Reglamentario de la Ley 8980 (Ministerio de Gobierno, 2004), indica que se considera como travesía al tramo de ruta que discurre por una zona urbana sin perder su continuidad dentro de la misma, y que tiene como función prioritaria la de dar movilidad al tránsito pasante y en segundo lugar proporcionar servicio a los usos colindantes. El mismo considera una subdivisión de las áreas urbanas según la siguiente clasificación:

- a-1) Travesía urbana: marcado desarrollo o definición de casco urbano y gran actividad comercial a lo largo de la misma, en poblaciones concentradas con cantidad de habitantes superiores a 1000.
- a-2) Travesía semi-urbana: escasa o mínima ocupación o desarrollo del casco urbano y actividad comercial a lo largo de la travesía. Es el caso de los suburbios de ciudades o de las poblaciones del orden de los 1000 habitantes. Puede registrar la presencia de accesos a la localidad, de estaciones de servicio, paradas de ómnibus interurbanos, etc.

La velocidad máxima normalmente autorizada en travesías se considera de 60 km/h, aunque justificadamente se podrán señalizar limitaciones diferentes, en función de las distancias entre fachadas, ancho de carriles, distancia entre fachadas y calzada y la presencia de pasos peatonales importantes. Asimismo, no se limitará la velocidad a un valor superior a 60 km/h en travesías provistas de semáforos.

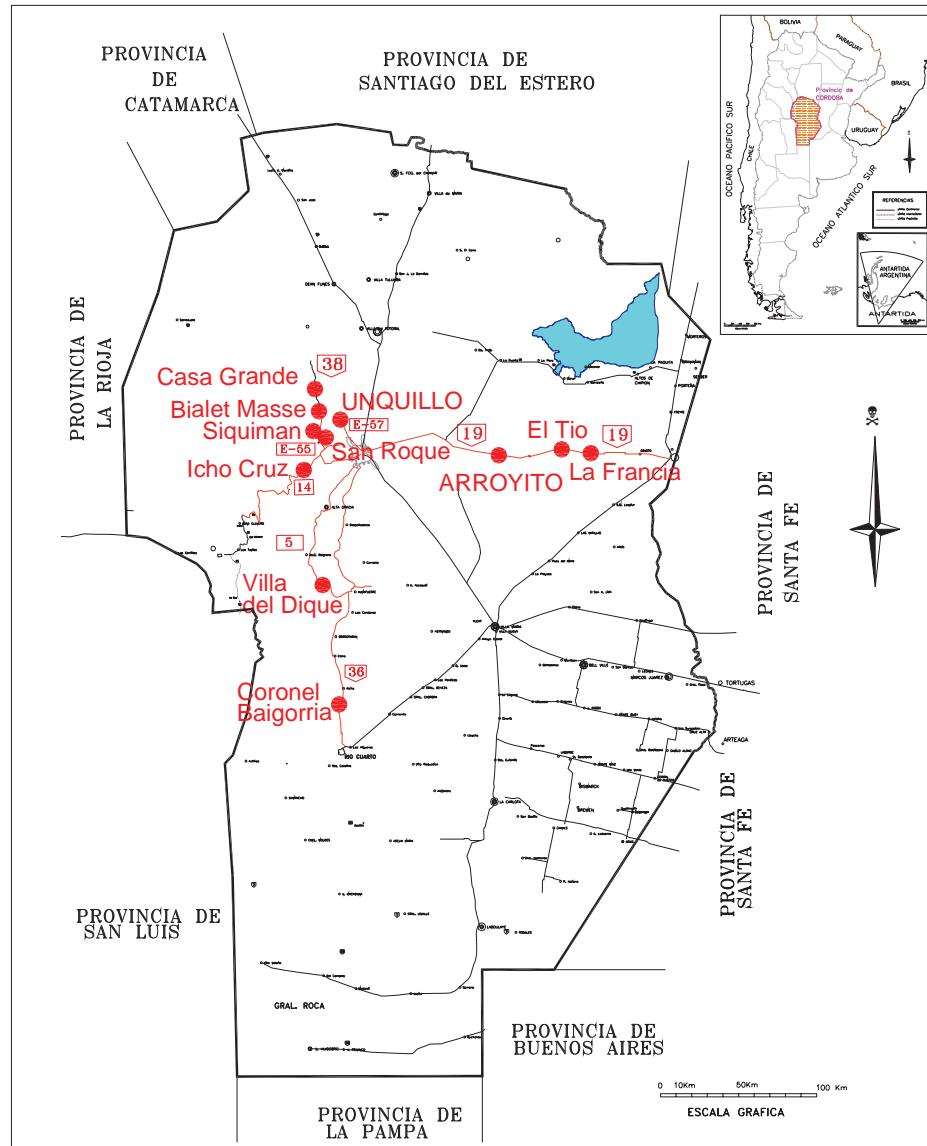
## 2. METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología de trabajo incluyó la realización de tareas de campo y gabinete, a saber:

- Análisis comparativo entre la normativa vigente (Ley N° 8560 y Decreto Reglamentario 1993/99, Ley 8980 y Decreto Reglamentario 447/04) y una inspección ocular realizada en campo, para verificar la caracterización de los tramos bajo estudio como travesías.
- Mediciones manuales de velocidad de vehículos.
- Procesamiento y análisis estadístico de las velocidades registradas.
- Determinación de la bondad de ajuste de las distribuciones medidas respecto de las distribuciones Normal y Log-Normal.

Las mediciones se realizaron en 12 lugares diferentes, los cuales se ubican en 11 localidades de la provincia de Córdoba, Argentina. Los sitios de control se corresponden con travesías en áreas urbanas de diversos tamaños, poblaciones de carácter turístico y agropecuario, y en zonas de llanura y de serranía. En total, se conforma una base de datos de 6.720 registros (incluyendo todo tipo de vehículos). Las localidades afectadas al estudio, se muestran en la Figura 1, siendo las mismas:

- El Tío, La Francia y Arroyito (Ruta Nacional N°19)
- Casa Grande, Villa Parque Siquiman y Bialet Masse (Ruta Nacional N°38)
- Unquillo (Ruta Provincial E-57)
- San Roque (Ruta Provincial E-55)
- Villa del Dique (Ruta Provincial N°5)
- Coronel Baigorria (Ruta Nacional N°36) y
- Villa Ycho Cruz (Ruta Provincial N°14).



**Figura 1: Ubicación de las localidades en la provincia de Córdoba, República Argentina.**

En función de la inspección visual realizada, y los datos de tránsito obtenidos de la publicación de TMDA del año 2001 y 2005 de la Dirección Nacional de Vialidad, en la Tabla 1 se resumen las principales características, geométricas y de tránsito, de las travesías bajo análisis. Los datos de tránsito del año 2001 se incluyen por ser contemporáneos con los datos de población disponibles de cada localidad para el mismo año.

En la misma se indica el tipo de travesía en cada caso (urbana o semi-urbana), longitud de la misma (entre las señales verticales informativas de ubicación que indican el ingreso y egreso de cada localidad), el tipo de topografía (llanura, ondulado o montaña), existencia de resaltos (lomos de burro) y semáforos, además de los diferentes anchos de faja fiscal medidos a lo largo de la misma y finalmente el Tránsito Medio Diario Anual y su composición. En la Comuna de San Roque en particular, se realizaron mediciones de velocidad en dos sitios diferentes dentro de la travesía, motivo por el cual presenta un doble registro en todas las tablas.

**Tabla 1: Características geométricas y de tránsito de las travesías urbanas.**

| Localidad           | Ruta      | Distancia a<br>Córdoba<br>[km] | Población |        | Travesía | Long.<br>Trav.<br>[mts] | Topografía | Lomadas | Semáforo | Faja Fiscal<br>[mts] |    |    | TMDA<br>2001 | Composición |      |      | TMDA<br>2005 |       |
|---------------------|-----------|--------------------------------|-----------|--------|----------|-------------------------|------------|---------|----------|----------------------|----|----|--------------|-------------|------|------|--------------|-------|
|                     |           |                                | 1991      | 2001   |          |                         |            |         |          |                      |    |    |              | Liv.        | Omn. | Pes. |              |       |
| 1. El Tío           | RN N°19   | 130                            | 1.524     | 1.515  | Urbana   | 1.950                   | Llano      | No      | No       | 18                   | 23 | 28 |              | 3.050       | 62,8 | 5,1  | 32,1         | 4.650 |
| 2. La Francia       | RN N°19   | 150                            | 3.135     | 3.507  | Urbana   | 3.800                   | Llano      | Sí      | No       | 22                   |    |    |              | 3.100       | 62,8 | 5,1  | 32,1         | 3.300 |
| 3. Casa Gande       | RN N°38   | 70                             | 551       | 573    | Semiurb. | 3.600                   | Ondulado   | No      | No       | 18                   | 28 |    |              | 8.000       | 85,0 | 6,0  | 9,0          | 8.500 |
| 4. Pque. Siquiman   | RN N°38   | 35                             | 447       | 814    | Semiurb. | 5.000                   | Ondulado   | No      | No       | 35                   |    |    |              | 5.106       | 87,6 | 7,9  | 4,5          | 5.587 |
| 5. Bialet Masse     | RN N°38   | 54                             | 3.236     | 4.528  | Urbana   | 2.600                   | Llano      | No      | Si       | 30                   | 16 | 38 | 25           | 5.106       | 87,6 | 7,9  | 4,5          | 5.587 |
| 6. Arroyito         | RN N°19   | 110                            | 18.260    | 19.669 | Urbana   | 3.000                   | Llano      | No      | Si       | 18                   | 28 |    |              | 3.956       | 70,6 | 5,0  | 24,4         | 4.921 |
| 7. Unquillo         | RP N°E-57 | 25                             | 11.521    | 15.587 | Urbana   | 6.000                   | Ondulado   | Sí      | No       | 14                   | 16 | 14 |              | 3.678       | 93,9 | 5,6  | 0,4          | s/d   |
| 8. San Roque (1)    | RP N°E-55 | 40                             | 409       | 824    | Semiurb. | 4.150                   | Llano      | No      | No       | 30                   | 47 |    |              | 10.971      | 93,5 | 4,9  | 1,5          | s/d   |
| San Roque (2)       | RP N°E-56 | 40                             | 409       | 824    | Semiurb. | 4.150                   | Llano      | No      | No       | 30                   | 47 |    |              | 10.971      | 93,5 | 4,9  | 1,5          | s/d   |
| 9. Villa del Dique  | RP N°5    | 110                            | 2.310     | 2.829  | Urbana   | 2.680                   | Llano      | No      | No       | 49                   | 55 | 42 |              | 3.024       | 87,8 | 4,9  | 7,3          | s/d   |
| 10. Cnel. Baigorria | RN N°36   | 170                            | 1.412     | 1.335  | Semiurb. | 3.000                   | Llano      | No      | Si       | 27                   | 38 | 18 | 19           | 3.400       | 80,5 | 5,6  | 13,9         | 4.150 |
| 11. Ycho Cruz       | RP N°14   | 45                             | 1.049     | 1.335  | Semiurb. | 1.800                   | Ondulado   | No      | No       | 30                   | 25 | 23 | 18           | 4.059       | 88,0 | 3,0  | 8,0          | s/d   |

Fuente: Elaboración propia (s/d: Sin Datos).

## 2.1. Tareas de Campo

El método de medición utilizado es muy similar al denominado de Cronómetro y Enoscopio. En este caso particular, se ha reemplazado el enoscopio por la participación de otro operador. Si bien es un método de los más antiguos, tiene la ventaja de ser fácil de transmitir y explicar a los operadores que realizan el trabajo. La principal ventaja de este método es que requiere una inversión mínima de recursos ya que no se necesita de equipos especiales para trabajar (solamente dos radios de corto alcance y un cronómetro) y se puede iniciar y finalizar la medición sin mayores complicaciones varias veces a lo largo del día.

Se mide una distancia corta sobre la vía (base de medición), y se marca con pintura en el pavimento. El cronómetro se pone en marcha cuando un vehículo entra en la base y se detiene cuando el mismo sale de la misma. Lo que se registra es el tiempo de recorrido de la base.

Luego, dividiendo la longitud de la base por el tiempo demorado en recorrerla, se obtiene la velocidad del vehículo. Al ser corta la base, la posibilidad de que el vehículo cambie su velocidad apreciablemente al recorrerla es despreciable, por lo que se considera que esa velocidad de recorrido será igual a la velocidad puntual, en cualquier lugar de la base.

De esta manera, al llegar el vehículo al inicio de la base, el primer operador avisa al otro operador que tiene el cronómetro y la planilla de anotación, para identificar el vehículo e indicarle por radio el momento exacto en el cual el vehículo atraviesa la marca. En ese instante, el segundo operador inicia el cronometraje del tiempo que transcurre hasta que el vehículo pisa la segunda marca (siempre considerando el eje delantero el vehículo), y anota el tiempo transcurrido en la planilla destinada a tal fin.

El primer operador, debe esperar un tiempo prudencial hasta que el vehículo registrado haya salido de la base y el segundo operador haya tomado nota del tiempo y regresado el cronómetro a cero, para recién entonces advertir de la aproximación del siguiente vehículo.

La longitud de la base de medición que recomiendan autores especializados en la materia, varía según las velocidades esperadas, a saber: 25 m para velocidades puntuales menores a 40 km/h, 50 m para velocidades entre 40 y 65 km/h y 75 m para velocidades mayores.

Para el desarrollo de las mediciones de velocidad en este trabajo, se han adoptado bases de medición de 80, 100, 120 y 150 metros de longitud según los diferentes casos.

Si bien el procedimiento detallado es de bajo rendimiento, ya que el operador no puede registrar el tiempo de otro vehículo hasta que no haya terminado de medir el anterior, y hace que se dejen de observar muchos vehículos si los volúmenes son altos, también logra que la selección de vehículos sea de manera aleatoria, por ejemplo observando un vehículo cada 2, 3, 5, etc.

Las características de este sistema de medición determinan su posibilidad de aplicación en forma limitada durante el período diario fijado. En este caso, los registros han sido realizados durante períodos de 2,5 a 3,5 horas por cada sentido de circulación, alternadamente, separados por un descanso al mediodía.

Las mediciones fueron realizadas durante los meses de Abril, Agosto, Septiembre, Octubre, Diciembre de 2005, Abril y Julio de 2006. Debido a la disponibilidad horaria de los operadores provistos por las Comunas y Municipios, las mediciones se hicieron en horario matutino y vespertino, en períodos de tiempo comprendidos generalmente desde las 8:00 a 12:00 hs. y de 14:00 a 18:00 hs. En cada una de las localidades, se emplearon diferentes operadores.

Cabe aclarar que se han medido las velocidades de los tres tipos de vehículos representativos del tránsito en su conjunto: Vehículos livianos (autos y pick ups), Vehículos pesados (camiones simples, con acoplado y semirremolque) y Omnibus.

### **2.1.1. Factores que Afectan la Velocidad de Circulación**

Los factores que producen variaciones en la velocidad de los vehículos pueden ser:

- Tipo de conductor.
- Tipos y características de vías y vehículos (de la Vía: curvas horizontales y verticales, distancia de visibilidad, estado del pavimento, cantidad y ancho de carriles, inclinación y longitud de pendientes, etc. Del Vehículo: según sean livianos, ómnibus, pesados, etc.)
- Medio ambiente y hora del día (niebla, lluvia, oscuridad, etc.)

- Interacción vehicular (en función de la demanda de la vía: a mayor flujo vehicular se tendrá mayor interacción entre los mismos.)
- Regulación del tránsito (límites de velocidad, semáforos, señales pare o ceda el paso, etc.)

Las mediciones de campo se realizaron de tal modo de evitar al máximo posible la influencia de estos factores sobre la velocidad de los vehículos dejando que el conductor decida a qué velocidad desea circular. Las mismas se llevaron a cabo de manera tal que pasen desapercibidas por los conductores, para evitar sesgos en la muestra y reflejar su verdadero comportamiento.

### **2.1.2. Tamaño de la muestra**

El tamaño mínimo necesario de la muestra se calculó mediante la siguiente expresión:

$$n = \left( \frac{z \cdot \sigma}{e} \right)^2 \quad (1)$$

donde:  
 $n$ = tamaño de la muestra  
 $z$ = constante correspondiente al nivel de confianza deseado (95%)  
 $e$ = error tolerable máximo en la media de velocidades (km/h)  
 $\sigma$ = estimación de la desviación típica de la población de velocidades (km/h)

Y adoptando:

$$\begin{aligned} z &= 1,96 \text{ (nivel de confianza deseado de 95\%)} \\ e &= 2,0 \text{ km/h} \\ \sigma &= 8,0 \text{ km/h} \end{aligned}$$

El tamaño mínimo de la muestra, para la medición de velocidades resulta:  $n = 61$ . Considerando la posibilidad de existencia de registros “erróneos” de velocidad, además de la necesidad de lograr muestras representativas de la población de cada tipo de vehículo considerado (livianos, camiones y ómnibus), y el bajo rendimiento del método de medición utilizado, se adoptó como tamaño de muestra el valor de 560 mediciones, el cual excede ampliamente al mínimo necesario calculado. Dicho valor surge de adoptar un criterio de máximo aprovechamiento de la mano de obra para la realización de las mediciones, considerando que las mismas se puedan efectuar con dos personas, a lo largo de dos días como máximo, en turnos matutinos y vespertinos con descansos intermedios, con el objeto de no agotar la capacidad de concentración de los operadores.

## **2.2. Tareas de Gabinete**

### **2.2.1. Estadística Descriptiva**

Se realizó el procesamiento estadístico de las mediciones, asumiendo inicialmente una Distribución Normal como aconseja la literatura especializada. En primer término se calcularon las medidas de posición y de dispersión de cada una de las muestras de velocidades, identificando la velocidad media (espacial y temporal), mediana (percentil 50), moda, rango, desvío estándar y percentil 85.

Sobre estos resultados, obtenidos de la estadística descriptiva, se efectuaron controles numéricos de las medidas de posición y dispersión, con el objeto de verificar si se podría asumir que las mismas podrían asimilarse a una distribución Normal.

Cabe diferenciar aquí conceptualmente dos tipos de velocidades:

Velocidad Instantánea: es la de un móvil en un instante determinado, es decir, durante un tiempo infinitesimal (por ej: medición con radar). Esta velocidad se conoce en la práctica como “velocidad media temporal”, siendo la expresión para determinarla:

$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (2)$$

donde:  $v_i$ = velocidad instantánea de cada vehículo registrado (km/h)  
 $n$ = cantidad total de vehículos registrados

Velocidad Puntual: es la velocidad instantánea de un vehículo cuando pasa por un punto de la vía. En la práctica se determina midiendo tramos de vía e intervalos de tiempo finitos, aunque sean muy pequeños (por ej: medición manual con cronómetro en un tramo de longitud conocida). Esta velocidad se conoce en la práctica como “velocidad media espacial” y se calcula dividiendo la longitud del tramo donde se han medido las velocidades, por la media aritmética de los tiempos de recorrido de los vehículos que atravesaron el tramo de medición. La expresión de cálculo es:

$$\bar{v}_e = \frac{L}{\bar{t}} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (3)$$

donde:  $L$ = longitud de la base de medición de velocidades (m)  
 $t_i$ = tiempo empleado por cada vehículo para recorrer la base de medición (seg)  
 $n$ = cantidad total de vehículos registrados

En todos los casos la velocidad media temporal es levemente mayor que la velocidad media espacial. Esto se debe a que las velocidades más altas influyen más en la media de esas velocidades que constituyen la media temporal y la elevan; mientras los tiempos de recorrido más largos (que corresponden a velocidades mas bajas) influyen más en la media de los tiempos de recorrido, lo que resulta en una velocidad media menor.

En el desarrollo del presente trabajo se empleará el concepto de “velocidad media espacial” en total correspondencia con la forma de medición utilizada en campo. La Tabla 2 presenta el resumen de los resultados obtenidos de la estadística descriptiva (velocidades medias temporal y espacial, mediana o percentil 50, moda, rango, desvío estándar y percentil 85). La última columna de la misma indica el límite de velocidad máxima que se recomienda según lo especificado en la Ley Provincial de Tránsito

### 2.2.2. Análisis de la Bondad de Ajuste.

Las distribuciones matemáticas para representar distribuciones de mediciones de velocidades, según la bibliografía especializada, son: la Distribución Normal, Log-Normal y Compuesta.

**Tabla 2: Estadística descriptiva de las mediciones de velocidad en campo.**

| Localidad           | Tamaño muestra<br>[veh] | Long.<br>Base<br>[mts] | VELOCIDADES       |                  |                   |                |                 |                |                 |                     |               |                 |
|---------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------|
|                     |                         |                        | Vm temp<br>[km/h] | Vm esp<br>[km/h] | Mediana<br>[km/h] | Moda<br>[km/h] | V max<br>[km/h] | Vmin<br>[km/h] | rango<br>[km/h] | Desv Std.<br>[km/h] | P85<br>[km/h] | V máx<br>[km/h] |
| 1. El Tío           | 560                     | 80                     | 53,4              | 50,2             | 56,5              | 57,1           | 95,9            | 22,1           | 73,7            | 13,6                | 69,0          | s/Ley 60,0      |
| 2. La Francia       | 560                     | 80                     | 57,6              | 54,7             | 57,1              | 57,2           | 95,1            | 32,0           | 63,1            | 13,3                | 71,0          | 60,0            |
| 3. Casa Gande       | 560                     | 100                    | 77,0              | 73,8             | 76,3              | 84,7           | 124,1           | 37,8           | 86,4            | 15,9                | 91,3          | 60,0            |
| 4. Pque. Siquiman   | 560                     | 100                    | 79,3              | 75,9             | 78,6              | 84,1           | 130,9           | 36,0           | 94,9            | 16,7                | 95,3          | 60,0            |
| 5. Bialet Masse     | 560                     | 100                    | 77,0              | 74,1             | 75,3              | 75,3           | 119,2           | 44,1           | 75,1            | 15,4                | 92,0          | 60,0            |
| 6. Arroyito         | 560                     | 80                     | 44,5              | 42,1             | 42,7              | 36,3           | 81,4            | 22,9           | 58,5            | 10,8                | 54,5          | 60,0            |
| 7. Unquillo         | 560                     | 100                    | 54,5              | 51,3             | 53,1              | 55,4           | 97,8            | 26,1           | 71,7            | 15,0                | 67,5          | 50,0            |
| 8. San Roque (1)    | 560                     | 150                    | 104,2             | 100,9            | 101,1             | 101,9          | 169,3           | 54,8           | 114,5           | 19,6                | 123,0         | 80,0            |
| San Roque (2)       | 560                     | 150                    | 100,1             | 95,9             | 97,4              | 90,0           | 169,8           | 45,6           | 124,2           | 21,1                | 121,0         | 80,0            |
| 9. Villa del Dique  | 560                     | 120                    | 94,5              | 89,7             | 92,9              | 77,1           | 151,0           | 41,9           | 109,1           | 22,1                | 118,0         | 80,0            |
| 10. Cnel. Baigorria | 560                     | 150                    | 85,8              | 81,4             | 85,3              | 88,2           | 146,3           | 37,7           | 108,7           | 19,8                | 104,6         | 70,0            |
| 11. Ycho Cruz       | 560                     | 150                    | 64,2              | 60,4             | 61,2              | 61,9           | 159,8           | 32,1           | 127,6           | 17,6                | 78,5          | 60,0            |

Fuente: elaboración propia.

Se pueden identificar dos motivos por los cuales resulta de importancia encontrar una distribución matemática apropiada para representar la distribución de velocidades medidas:

- Cada distribución matemática tiene atributos únicos.
- Si una distribución medida, puede ser representada por una distribución teórica, se puede afirmar que la distribución medida tiene atributos “similares”, por lo tanto se puede tener un mayor conocimiento de la distribución medida a través de la inferencia estadística.

Habitualmente el procedimiento sugerido es asumir inicialmente que las distribuciones de velocidades medidas pueden ser asimiladas a una distribución Normal. Para verificar el cumplimiento de esta hipótesis, se realizaron tres tipos de controles:

a) Control Numérico: Los resultados obtenidos han mostrado que los controles numéricos de las medidas de posición y dispersión de la distribución de velocidades medidas resultan aceptables en todos los casos. A continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

- La varianza de una distribución de velocidades medida, debe ser menor que la varianza de una distribución aleatoria.

$$S^2 \langle S_R^2 \rangle \quad (4)$$

- El desvío estándar debe ser aproximadamente 1/6 del rango total, ya que la media  $\pm 3$  desvíos estándar incluye al 99,73% de las observaciones de una distribución Normal.

$$S_{EST} = \frac{\text{Rango}}{6} \quad (5)$$

- El desvío estándar debe ser aproximadamente la mitad del rango entre los percentiles 15 y 85, ya que la media  $\pm 1$  desvío estándar. incluye al 68,27% de las observaciones de una distribución Normal.

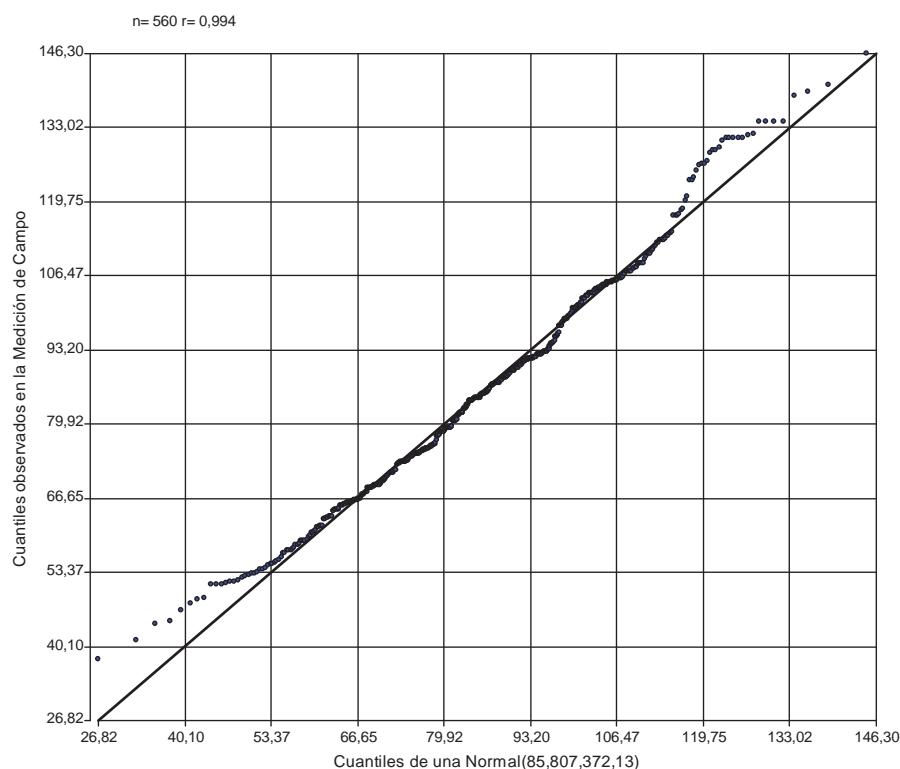
$$S_{EST} = \frac{\text{Rango Percentil } 15 - 85}{2} \quad (6)$$

- En una distribución Normal el coeficiente de sesgo debe ser mínimo (similar a cero)

$$Cs = \frac{\text{media} - \text{moda}}{S} \quad (7)$$

b) Gráficos de tipo QQ-plot (cuantil-cuantil).

Dado que el control numérico realizado permitió suponer que las distribuciones de velocidades medidas pueden asimilarse a una distribución Normal, se procedió entonces a graficar en cada caso la distribución medida en un gráfico de probabilidad (QQ-plot, o gráfico cuantil-cuantil). La Figura 2 muestra un ejemplo de uno de ellos, donde la línea recta continua representa una distribución Normal de media y varianza igual que la distribución medida. Por otra parte, los puntos aislados representan la distribución de velocidades medida.



**Figura 2: Gráfico cuantil–cuantil de una distribución Normal y otra medida en campo.**  
 Si las dos distribuciones fueran idénticas, estarían representadas por una misma línea recta. Observando el gráfico, se aprecia generalmente un buen ajuste de las mediciones de campo, para las velocidades en proximidades del centro del gráfico, mientras que en los extremos del mismo se observó un pobre ajuste en todos los casos analizados.

La pendiente de la línea recta está relacionada con la desviación estándar de la distribución. A medida que la pendiente de la recta sea más tendida, indicará una mayor desviación estándar, en tanto que mientras más empinada sea ésta, menor será la desviación estándar de la distribución de velocidades.

c) Test Chi-Cuadrado ( $\chi^2$ ).

En función del análisis visual de los gráficos elaborados anteriormente, se detectaron los primeros indicios de diferencia entre las distribuciones de velocidades medida y teórica. Por lo que se procedió a realizar una evaluación numérica utilizando el Test  $\chi^2$ .

Si la hipótesis planteada es aceptada por el test, entonces se elige la distribución Normal como representativa de la distribución medida y se finaliza la búsqueda. En ese caso podría afirmarse que “no hay evidencia de diferencia estadística entre las dos distribuciones, y la distribución de velocidades medida podría ser similar a la distribución matemática adoptada”. Caso contrario, se continúa buscando otra distribución que se ajuste a lo medido (se recomienda generalmente verificar una Log-Normal, y en caso que tampoco se ajuste, posteriormente verificar si se puede ajustar a una Compuesta).

La expresión matemática del test chi-cuadrado es:

$$\chi^2_{calc} = \sum_{i=1}^I \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t} \quad (8)$$

donde:

$\chi^2$  = valor calculado de chi-cuadrado.

$f_o$  = número de frecuencias observadas de intervalos de velocidades.

$f_t$  = número de frecuencias teóricas que se esperan observar, de intervalos de velocidades.

$i$  = cualquier intervalo de velocidades.

$I$  = cantidad de intervalos de velocidades.

d) Definición de Intervalos de Clase.

Para la realización del test, resulta de suma importancia definir la cantidad y tamaño de los intervalos de velocidades a considerar en el análisis, ya que en función de esto se podrá obtener el menor valor de Chi-cuadrado calculado, para verificar luego si el mismo es menor que el valor de referencia (obtenido de la tabla de valores para el nivel de confiabilidad elegido, que en este caso ha sido 0,95).

Neiswanger (1943) ha propuesto que normalmente se definan entre 10 y 25 intervalos de clase, dependiendo de la cantidad y rango de los valores observados. Sturges [6] propuso la siguiente ecuación para definir el tamaño de los intervalos de clase:

$$I = \frac{\text{Rango}}{1 + (3,322) \cdot \log N} \quad (9)$$

donde:

I: Tamaño del intervalo de clase.

Rango: diferencia entre las velocidades máxima y mínima registradas.

N: número de observaciones.

La Tabla 3 muestra la cantidad y tamaño de los intervalos de clase utilizados en la realización del test, para obtener el mínimo valor de cálculo de Chi-cuadrado (mejor ajuste) para las mediciones realizadas. Asimismo, se muestran las diferencias porcentuales entre estos valores y aquellos de referencia según Sturges (1926).

**Tabla 3: Cantidad y tamaño de los intervalos de clase, recomendados y adoptados.**

| Localidad           | s/Sturges             |                | Distribución Normal   |                |                |                | Distribución Log-Normal |                |                |                |
|---------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                     | Nº Interv<br>de clase | Tamaño<br>km/h | Nº Interv<br>de clase | Variación<br>% | Tamaño<br>km/h | Variación<br>% | Nº Interv<br>de clase   | Variación<br>% | Tamaño<br>km/h | Variación<br>% |
|                     |                       |                |                       |                |                |                |                         |                |                |                |
| 1. El Tío           | 10                    | 7              | 5                     | -50%           | 13             | 60%            | 8                       | -20%           | 10             | 30%            |
| 2. La Francia       | 10                    | 6              | 5                     | -50%           | 10             | 40%            | 6                       | -40%           | 10             | 40%            |
| 3. Casa Gande       | 10                    | 9              | 12                    | 20%            | 6              | -30%           | 5                       | -50%           | 11             | 20%            |
| 4. Pque. Siquiman   | 10                    | 9              | 9                     | -10%           | 10             | 10%            | 4                       | -60%           | 15             | 60%            |
| 5. Bialet Masse     | 10                    | 7              | 6                     | -40%           | 15             | 80%            | 6                       | -40%           | 12             | 50%            |
| 6. Arroyito         | 10                    | 6              | 5                     | -50%           | 11             | 50%            | 8                       | -20%           | 8              | 20%            |
| 7. Unquillo         | 10                    | 7              | 6                     | -40%           | 12             | 50%            | 6                       | -40%           | 15             | 80%            |
| 8. San Roque (1)    | 10                    | 11             | 9                     | -10%           | 13             | 20%            | 5                       | -50%           | 13             | 20%            |
| San Roque (2)       | 10                    | 12             | 10                    | 0%             | 13             | 10%            | 5                       | -50%           | 13             | 10%            |
| 9. Villa del Dique  | 10                    | 11             | 9                     | -10%           | 15             | 40%            | 6                       | -40%           | 15             | 40%            |
| 10. Cnel. Baigorria | 10                    | 11             | 9                     | -10%           | 17             | 60%            | 4                       | -60%           | 17             | 60%            |
| 11. Ycho Cruz       | 10                    | 13             | 10                    | 0%             | 8              | -50%           | 7                       | -30%           | 12             | -10%           |

Fuente: elaboración propia.

Se observa que para todas las localidades analizadas, según la estimación de la expresión (9), se recomienda definir 10 intervalos de clase aproximadamente, en tanto que el tamaño de los mismos varía de 6 a 13 km/h.

Realizando el test para una distribución Normal y Log-Normal, para obtener el mínimo valor de  $\chi^2$ , se observa que:

- Para el caso de una distribución Normal, la cantidad de intervalos de clase son casi siempre menores que los estimados, en un 10 a 50%. Además, el tamaño de los intervalos son casi siempre mayores que los estimados, en un 10 a 80%, según los casos.

- Para el caso de una distribución Log-Normal, la cantidad de intervalos de clase son casi siempre menores que los estimados, en el orden de un 20 a 60%. Además, el tamaño de los intervalos son prácticamente siempre mayores que los estimados, en un 10 a 80%, según los casos.

#### e) Verificación de Distribuciones Normal y Log-Normal

Para un nivel de significación del 95%, y comparando la distribución medida con una Normal y otra Log-Normal, se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 4. Cabe aclarar que para el cálculo de  $\chi^2$  se adoptó como condición que la cantidad de frecuencias observadas en campo, coincidiera o fuera prácticamente igual a la cantidad de frecuencias teóricas calculadas. Considerando una distribución Normal, se observa que una sola de las distribuciones de velocidad medidas (en Casa Grande) verifica el test. Por ser el valor calculado, menor que el de tabla, se puede afirmar que “No existe una evidencia de diferencia estadística entre las dos distribuciones, y la distribución de velocidades medidas puede considerarse como una Distribución Normal”.

Debido a que 10 localidades NO verifican el test para una distribución Normal, se realizó nuevamente el mismo, considerando una distribución Log-Normal. En este caso, solo una localidad más (El Tío) verificó el test (pero en este caso ya no verifica de Casa Grande), por lo que podría afirmarse que no hay evidencia estadística de diferencia entre la distribución de velocidades medida en campo y una Log-Normal.

**Tabla 4: Verificación de la bondad de ajuste de las distribuciones Normal y Log-Normal.**

| Localidad           | Distribución Normal |                      |             | Distribución Log-Normal |                      |             |
|---------------------|---------------------|----------------------|-------------|-------------------------|----------------------|-------------|
|                     | X <sup>2</sup> calc | X <sup>2</sup> tabla | Condición   | X <sup>2</sup> calc     | X <sup>2</sup> tabla | Condición   |
| 1. El Tío           | 19,6                | 6                    | NO Verifica | 11,2                    | 11,1                 | VERIFICA    |
| 2. La Francia       | 21,1                | 6                    | NO Verifica | 37,3                    | 7,8                  | NO Verifica |
| 3. Casa Gande       | 11,4                | 17,0                 | VERIFICA    | 14,1                    | 6,0                  | NO Verifica |
| 4. Pque. Siquiman   | 28,4                | 12,6                 | NO Verifica | 12,0                    | 3,8                  | NO Verifica |
| 5. Bialet Masse     | 29,0                | 7,8                  | NO Verifica | 11,3                    | 7,8                  | NO Verifica |
| 6. Arroyito         | 59,8                | 6,0                  | NO Verifica | 17,2                    | 11,1                 | NO Verifica |
| 7. Unquillo         | 23,1                | 7,8                  | NO Verifica | 311,1                   | 7,8                  | NO Verifica |
| 8. San Roque (1)    | 41,4                | 12,6                 | NO Verifica | 19,9                    | 6,0                  | NO Verifica |
| San Roque (2)       | 33,3                | 14,1                 | NO Verifica | 8,8                     | 6,0                  | NO Verifica |
| 9. Villa del Dique  | 64,7                | 12,6                 | NO Verifica | 28,5                    | 7,8                  | NO Verifica |
| 10. Cnel. Baigorria | 38,5                | 12,6                 | NO Verifica | 13,5                    | 3,8                  | NO Verifica |
| 11. Ycho Cruz       | 32,7                | 14,1                 | NO Verifica | 45,6                    | 9,5                  | NO Verifica |

Fuente: elaboración propia.

Cuando no verifiquen las dos distribuciones utilizadas anteriormente, recién entonces podrá analizarse la posibilidad de una distribución Compuesta. Analizando los histogramas de velocidades medidas del resto de las localidades, no se observan evidencias o indicios de este tipo de distribución. En este sentido, es recomendable revisar el sitio y las mediciones de velocidad realizadas, para intentar identificar posibles sub-poblaciones, tales como: tipos de conductores,

tipo de vehículos, utilización de carriles, etc. En caso que se identifiquen sub-poblaciones, deberá realizarse un segundo estudio de velocidad en donde se midan por separado las velocidades de cada sub-población, siempre y cuando no sea posible identificarlas de los datos ya relevados. Debido a la forma en que se realizaron las mediciones en este trabajo, difícilmente se puedan identificar sub-poblaciones (ver apartado 2.2.1).

### 3. CONCLUSIONES

- a) El percentil 50 de las velocidades registradas, así como la velocidad media espacial, superan la velocidad máxima permitida (definida según Ley N°8980, en función de las características geométricas de la vía) en el 75% de los casos analizados. El percentil 85 supera la máxima permitida en el 100% de los casos (ver Tabla 2).
- b) En 7, de los 12 sitios de medición, el rango de velocidades (diferencia entre velocidad mínima y máxima registrada) varía entre 60 y 95 km/h. En otros tres sitios resulta del orden de 110 km/h y en los restantes dos, supera los 120 km/h (posiblemente por errores en la medición de velocidades (ver Tabla 2). En los últimos dos casos se estima que los valores obtenidos se originan por mediciones erróneas de velocidad. Dado que un valor de rango importante puede deber su origen en una sola velocidad medida equivocadamente, el hecho de descartarla en el procesamiento de datos realizado no influye en los resultados obtenidos. No obstante se plantea como tarea futura la verificación de los resultados obtenidos mediante la medición manual, en función de los resultados que se obtengan con los equipos de medición de velocidad a instalar oportunamente.
- c) La adopción de la cantidad y tamaño de los intervalos de clase que minimizan el valor de chi-cuadrado calculado en la realización del test, presentan variaciones de entre el 10 y 80% respecto de los recomendados según expresiones generales que determinan el tamaño de los mismos (ver Tabla 3).
- d) Solamente en 2 travesías (de las 11 analizadas), las distribuciones de velocidad medidas no presentan evidencias de diferencia estadística respecto de una distribución Normal y Log-Normal respectivamente, ya que verifican el test chi-cuadrado. Se plantea como tarea futura el análisis de otras distribuciones estadísticas con mejor bondad de ajuste respecto de la distribución de velocidades medida en campo. Una vez realizado este trabajo, el paso siguiente a plantear podría vincularse con el análisis sobre algún tipo de correlación entre las características geométricas y/o de tránsito de la vía, y los resultados de la medición de campo.
- e) En función de los resultados obtenidos, se pueden plantear los siguientes interrogantes a dilucidar en un futuro próximo, sin resultar los mismos de carácter taxativo:
  - Identificar si las diferencias de cantidad y tamaño de intervalos de clase recomendados por expresiones de carácter general, respecto de aquellos que resultan de minimizar el valor calculado de chi-cuadrado, presentan alguna correlación con ciertas características de la travesía (geometría, sección transversal, tamaño de la población, etc.), o del tránsito (tipos de vehículo considerados en el análisis).
  - Indagar otras distribuciones de probabilidad que se ajusten mejor a las distribuciones medidas en campo. Además se podría analizar el resultado de otras metodologías para la verificación de la bondad de ajuste.

- Realizar mediciones de velocidad con equipos automáticos, y repetir el procedimiento de verificación de bondad de ajuste ya realizado. En este caso sería necesario “seleccionar aleatoriamente” las velocidades a utilizar en el procesamiento, ya que se medirían todos los vehículos y no solamente aquellos que circulen en condiciones similares a las ideales.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece espacialmente a los Intendentes y Jefes Comunales de las respectivas localidades por facilitar el personal necesario para la realización de las mediciones, como así también en algunos casos, los elementos necesarios para la ejecución del trabajo.

## REFERENCIAS

- Dirección Nacional de Vialidad (2005) La Seguridad Vial en la Dirección Nacional de Vialidad. **Carreteras.** Asociación Argentina de Carreteras. Año L, N°177. Marzo 2005.
- Jin, J. W. (1973) **Analysis of Freeway On-Ramp Control Strategies. Dissertation.** University of California, Berkeley, California.
- Khosrow, O. (1975) **Simulation of Freeway Priority Strategies. Dissertation.** University of California, Berkeley, California.
- May, A. D. (1990) **Traffic Flow Fundamentals.** University of California, Berkeley. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Ministerio de Gobierno. Poder Ejecutivo de la Provincia de Córdoba (2004) Decreto Reglamentario 447/04 (Anexos A, 1, 2, 3, 4 y 5). **Ley N°8980: Utilización de Dispositivos Controladores y Reguladores de Tránsito.** Pliego de Condiciones y Especificaciones Técnicas.. Córdoba..
- Ministerio de Gobierno. Poder Ejecutivo de la Provincia de Córdoba (1999) Decreto Reglamentario 1993/99 (Capítulo 11, Anexo A-3). **Ley Provincial de Tránsito N° 8560..** Córdoba.
- Neiswanger, W.A. (1943) **Elementary Statistical Methods.** Macmillan Publishing Co. Inc., New York. Page 218.
- Radelat, G. (2003) **Principios de Ingeniería de Tránsito.** Institute of Transportation Engineers (ITE). Publication N° TB-016. Washington.
- Sturges, H.A. (1926) The Choice of a Class Interval. **Journal of the American Statistical Association.** Page 65-66.