

## **PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN LA DETERMINACION DE LA CANTIDAD NECESARIA DE OMNIBUS EN UNA CIUDAD**

Gonzalo Bruzos Bonzon

Centro de Ingeniería del Transporte, Heredia N° 34 Esquina Padre Pico, CUBA

Teléfono: (53) (226) 5-2937, Fax: (53) (226) 5-2863

### **RESUMEN**

El presente trabajo expone de forma analítica algunos parámetros que intervienen en la determinación de la cantidad necesaria de ómnibus en una ciudad. Se exponen cuatro expresiones de cálculo que permiten conocer la demanda de ómnibus; explicándose las formas y métodos necesarios para poder llegar a definir los parámetros que intervienen en las expresiones seleccionadas. Además permite establecer principios metodológicos que ayuden a valorar y seleccionar un parámetro o coeficiente técnico, de explotación, de calidad o de organización que incida sobre la demanda real de ómnibus para las transportaciones de pasajeros en una ciudad.

### **1. INTRODUCCION**

El presente trabajo contiene los señalamientos metodológicos y los principales elementos a considerar para la determinación de la cantidad necesaria de ómnibus en una ciudad; apoyado en la recopilación y análisis de diferentes criterios y estudios realizados al respecto.

La determinación de la cantidad de ómnibus necesarios para realizar o asegurar el servicio de transportación de la población en sus gestiones productivas, sociales, recreativas, etc., no se puede ver como una simple sustitución de valores o datos en una expresión de cálculo predeterminada; sino como un conjunto de informaciones obtenidas y bien analizadas a través de investigaciones especializadas, teniendo siempre en cuenta los elementos particulares relacionados con el transporte y movimiento de la población, que se encierran en cada región o ciudad.

Actualmente existen muchas expresiones de cálculo, mediante las cuales se puede determinar con menor o mayor exactitud la cantidad necesaria de ómnibus en una ciudad.

En sentido general cada una de estas expresiones están afectadas de una forma u otra por los mismos factores, con sus pequeñas diferencias metodológicas. No obstante, se piensa que cualquiera de las expresiones encontradas en la bibliografía especializada, puede ser empleada

para estos fines y este análisis puede ser utilizado como medio de consulta para llegar a criterios a la hora de seleccionar un valor dado que intervenga en la expresión seleccionada.

## 2. EXPRESIONES DE CALCULO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE OMNIBUS NECESARIOS PARA UNA CIUDAD

A continuación se pueden observar algunas de ellas expuestas por distintos autores, que pudiesen ser empleadas para estos fines.

$$A_{exist} = \frac{Q_n * L_v * K_{ca} * K_d}{365 * T_h * V_{ex} * q_n * \gamma_{din} * \alpha_o} \quad (1)$$

donde:

$A_{exist}$	=	Cantidad de material rodante (ómnibus).
$Q_n$	=	Dimensión anual de las transportaciones (miles de pasajeros).
$L_v$	=	Distancia promedio de viaje de un pasajero en el ómnibus (Km).
$K_{ca}$	=	Coefficiente de irregularidad de las transportaciones en el año.
$K_d$	=	Coefficiente de irregularidad de las transportaciones en el día.
$V_{ex}$	=	Velocidad promedio de explotación de los ómnibus (Km/h).
$T_h$	=	Horas promedio de trabajo diario del vehículo en la línea (h).
$q_n$	=	Capacidad nominal de los ómnibus (pasajeros).
$\gamma_{din}$	=	Coefficiente dinámico de la utilización de la capacidad de los ómnibus.
$\alpha_o$	=	Coefficiente promedio de aprovechamiento del parque de ómnibus.

$$A_{exist} = \frac{Q_n * L_v * K_c * K_n}{365 * T_h * V_{ex} * q_n * \gamma_{din} * \beta \alpha_o} \quad (2)$$

En esta expresión aparecen tres nuevas variables, las cuales se denominan:

$K_c$	=	Coefficiente de irregularidad de las transportaciones por horas del día.
$K_n$	=	Coefficiente de irregularidad de las transportaciones según la longitud y dirección de las rutas.
$\beta$	=	Coefficiente de aprovechamiento del recorrido.

$$A_{exist} = \frac{Q_n * L_v * K_c * K_n * K_m}{365 * T_h * V_{ex} * q_n * \gamma_{din} * \alpha_o * \beta} \quad (3)$$

En la fórmula (3) se le añade un nuevo coeficiente ( $K_m$ ) denominado coeficiente de mejoramiento del servicio a la población.

La fórmula (1) según los autores M.D. Blatnov y E. A. Kravchenko, se ajusta más para utilizarla en la determinación de la cantidad necesaria de ómnibus para las comunicaciones sub-urbanas con la ciudad, ya que existen otras condiciones de transportación, las cuales no serán objeto de análisis en este trabajo.

$$A_{exist} = \frac{Q_n * X_{max} * K_t * K_{irr} * (1 - K_{op})}{365 * q_n * K_{reg} * K_{tr} * \alpha} \quad (4)$$

donde:

$X_{max}$	=	Coeficiente de hora pico.
$K_t$	=	Coeficiente de tiempo.
$K_{op}$	=	Coeficiente de operatividad.
$K_{reg}$	=	Coeficiente de regularidad.
$K_{tr}$	=	Coeficiente de transbordo.

Cada variable que interviene en las expresiones (1), (2), (3) y (4) necesitan de un análisis detallado para poderlos determinar y utilizar; pudiendo ser calculadas a través de determinadas investigaciones y utilizando normas técnicas ya estudiadas.

### 3. EVALUACION DE LOS PARAMETROS QUE INTERVIENEN EN LAS EXPRESIONES SELECCIONADAS

#### 3.1. Determinación de los niveles de transportación de pasajeros

Existen distintos métodos que sirven para determinar los niveles de transportación en una ciudad, tanto a corto, mediano como a largo plazo.

Uno de estos métodos es el que relaciona la serie de pasajeros transportados por la empresa transportista (en este caso de ómnibus) y los años en que se transportó esa cantidad de pasajeros. Utilizando a su vez, los análisis de regresión, se puede obtener un modelo matemático que indica el comportamiento de los niveles de transportación o el incremento de pasajeros por años hasta una etapa prospectiva no muy lejana.

Otro método utilizado con características similares al anterior, es el que relaciona el índice de movilidad de la población y los pasajeros transportados, por años.

El índice de movilidad puede ser determinado, relacionando los habitantes de la ciudad y los pasajeros transportados.



Estos procedimientos adolecen de algunas limitantes en cuanto a su alcance en la proyección de la determinación de la demanda de transportación, pues se considera solamente para obtener los modelos matemáticos, los pasajeros que pudo transportar la Empresa de Omnibus, sin incluir la demanda total de transportación de la población. Es decir, que para lograr una mayor aproximación a la real demanda de transporte es necesario que estén satisfechas las necesidades en cuanto a transporte se refiere.

No obstante existe también otro método que sirve para determinar el volumen de transportación, el cual ofrece una información más precisa, pero a la vez requiere de la utilización de mayor información estadística; por lo que se incrementan los costos por este concepto.

En este tipo de estudio, para calcular el volumen de transportación, se determina inicialmente la movilidad de la población, considerando los distintos motivos de movimiento de esta (trabajo, docente, socio-culturales, para el descanso, entre otros), caracterizándolos de origen a destino, así como los tiempos de viajes, tipo de transporte empleado, etc. Sin embargo para llegar a materializar este método, es necesario realizar primeramente dos investigaciones; una que subdivida la ciudad en zonas de transporte y otra cuyo objetivo sea la caracterización de la población que encierra cada zona, según su ocupación (trabajadores, estudiantes, amas de casa, jubilados, etc.).

Conociendo la movilidad de la población, es decir, cantidad de viajes por habitantes al año y la población de la ciudad (planificada), se puede determinar el volumen anual de las transportaciones por ómnibus:

$$Q_n = M_p * N_p \quad (5)$$

donde:

- $Q_n$  = Volumen anual de transportación (miles de pasajeros).
- $N_p$  = Cantidad de habitantes de la ciudad (miles de habitantes).
- $M_p$  = Movilidad de la población.

### 3.2. Distancia media de transportación

Este parámetro refleja el promedio de kilómetros que recorre un pasajero durante un viaje y puede ser determinado por distintas vías. Dentro de los estudios utilizados para determinar la distancia media se tienen:

- a) Método de encuesta.
- b) Método de ficha
- c) Método de observación visual.

### 3.3. Coeficiente de irregularidad de las transportaciones de pasajeros

Los coeficientes de irregularidad de las transportaciones, definen las irregularidades que existen entre los volúmenes de transportación durante el año (Kca), el día (Kd) e incluso en horas (Kc).

Es decir, relaciona el mayor volumen anual, diario u horario con el volumen medio de transportación respectivamente.

Estos coeficientes pueden ser utilizados, considerando los valores obtenidos del último año del cual se conoce el volumen transportado o calculando una media de estos coeficientes determinados a partir de la serie cronológica de transportación de pasajeros; además varían en dependencia de la característica urbana y del uso del suelo de la ciudad, así como de las condiciones climatológicas.

### 3.4. Coeficiente de irregularidad de las transportaciones

Este coeficiente ( $K_n$ ), se determina dividiendo la cantidad de pasajeros transportados en la sección de la dirección más cargada de la ruta, con la cantidad promedio de pasajeros transportados de todas las secciones y direcciones de la ruta.

Conociendo el valor de  $K_n$  por rutas, se puede determinar el valor medio para la ciudad.

Para poder conocer este coeficiente es necesario realizar un estudio del flujo de pasajeros por rutas.

### 3.5. Tiempo de trabajo de los omnibus

Este parámetro lleva implícito el tiempo de movimiento del ómnibus en la ruta, el tiempo invertido en las paradas para dejar o tomar pasajeros y el tiempo de espera en las bases o puntos de control para el descanso de los choferes.

Aquí no se incluye el tiempo invertido desde la salida de la base, hasta situarse en el inicio de la ruta o punto de control, así como tampoco al regreso al terminar el trabajo. Pudiendo expresarse de la siguiente forma:

$$T_h = T_m + T_p + T_e \quad (6)$$

donde:

- $T_h$  = Tiempo de trabajo de los ómnibus.
- $T_m$  = Tiempo en movimiento del ómnibus en la ruta.
- $T_p$  = Tiempo invertido en las paradas para dejar o tomar pasajeros.
- $T_e$  = Tiempo de espera en el punto de control para el descanso de los choferes.

### 3.6. Velocidad de movimiento de los omnibus

La velocidad de los ómnibus depende, por una parte, de la circunstancia en que se desarrolle su circulación y por otra, de las características técnicas del equipo. El aumento o disminución de la velocidad de los ómnibus influye considerablemente en el aprovechamiento de la productividad de ellos. Con el incremento de esta velocidad, se podría lograr incluso, realizar un número mayor de viajes por unidad de tiempo implicando un número mayor de pasajeros a transportar por cada

unidad de transporte. Para estudiar por separado la influencia de distintos factores sobre la velocidad de movimiento de los ómnibus se pueden agrupar en:

- Velocidad técnica de los ómnibus ( $V_t$ ).
- Velocidad de explotación de los ómnibus ( $V_{ex}$ ).

La primera puede ser determinada con la ayuda del cronometraje sobre el ómnibus a diferentes horas del día, el cual fija el tiempo en movimiento del ómnibus entre todas las paradas y además, el invertido en relación con las regulaciones del tránsito. Esta velocidad debe calcularse para cada ruta en particular, estableciéndose después la media de la velocidad técnica. Dentro de los factores que influyen sobre la magnitud  $V_t$  se pueden mencionar:

- Cualidades técnicas del ómnibus.
- Condiciones viales.
- Características del tránsito.

La expresión que se utiliza para llegar al valor de la velocidad técnica viene expresada por:

$$V_t = \frac{L_t}{T_{ml}} \quad (7)$$

donde:

$L_t$  = Recorrido del ómnibus realizado durante un viaje completo en la ruta (Km).

$T_{ml}$  = Tiempo promedio en movimiento del ómnibus, que a su vez se expresa como:

$$T_{ml} = T_{ml} + T_r - T_p \quad (8)$$

donde:

$T_{ml}$  = Tiempo promedio en movimiento del ómnibus entre las paradas.

$T_r$  = Tiempo promedio invertido por las regulaciones del tránsito.

$T_p$  = Tiempo de espera promedio invertido por el ómnibus en las paradas.

La velocidad de explotación además de considerar los datos expresados anteriormente para la velocidad técnica, tiene en cuenta todo el tiempo que el ómnibus invierte en las paradas para tomar o dejar pasajeros y el invertido para el descanso de los conductores en las terminales o puntos de control. Esta velocidad puede calcularse utilizando la expresión siguiente.

$$V_{ex} = \frac{L_t}{T_h} \quad (9)$$



donde:

$V_{ex.}$  = Velocidad de explotación. (Km/h)

$Lt.$  = Recorrido del ómnibus durante un viaje completo en la ruta (Km).

$Th.$  = Tiempo promedio de trabajo del ómnibus en la ruta (horas).

Esta variable comprende el tiempo que transcurre desde el momento en que comienza el trabajo del ómnibus en la ruta hasta el momento en que finaliza. No se incluye el tiempo invertido desde la salida de la base hasta situarse en el inicio de la ruta o punto de control y desde estos hasta la base, por tanto:

$$Th = T_{ml} + T_p + T_e + T_r. \quad (10)$$

### 3.7. Capacidad nominal del omnibus

La capacidad de utilización del ómnibus, está en dependencia entre otros factores, del confort que se quiera dar a las transportaciones de pasajeros. Esta se puede descomponer en viajeros sentados ( $V_s$ ) y viajeros de pie ( $V_p$ ), existiendo una relación entre  $V_s$  y  $V_p$  que variará según las características técnicas y dimensiones de los ómnibus y de las normas que se establezcan para cada ciudad en específico.

Por otra parte, tanto el número de viajeros de pie como sentados, estará relacionado con la superficie destinada dentro del vehículo para cada uno de ellos, por lo que se puede llegar a las siguientes expresiones:

$$V_s = P_s * A_s \quad (11)$$

$$V_p = P_p * A_p \quad (12)$$

donde:

$P_s, P_p.$  = Número de personas sentadas y de pie, respectivamente que pueden ubicarse en un metro cuadrado de superficie

$A_s, A_p.$  = Superficie destinada para los pasajeros sentados y de pie, respectivamente.

### 3.8. Coeficiente de aprovechamiento de la capacidad del omnibus (estático y dinámico)

El coeficiente de aprovechamiento de la capacidad estática ( $\gamma_{st}$ ) no refleja la verdadera capacidad de aprovechamiento del ómnibus, pues como se sabe, el ómnibus a diferencia del camión transporta una carga (pasajeros) que fluctúa durante el trayecto de la ruta y ( $\gamma_{st}$ ) no considera estas variaciones.

No obstante, puede ser utilizado como un elemento más para el análisis del cálculo de la cantidad necesaria del ómnibus, por tanto, este puede ser determinado con la ayuda de la siguiente expresión:

$$\gamma_{st} = \frac{Q_v}{qn} \quad (13)$$

donde:

$Q_v$  = Pasajeros transportados durante un viaje.

$qn$  = Capacidad nominal del ómnibus.

Conociendo el valor de ( $\gamma_{st}$ ) por viajes en ambas direcciones, se puede determinar el comportamiento de este durante el día utilizando la media, expresada de la siguiente forma:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{sti}}{N} \quad (14)$$

donde:

$\gamma_{sti}$  = Coeficiente de aprovechamiento de la capacidad estática del ómnibus por viaje.

$N$  = Número de viajes

Generalizando este concepto se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$\gamma_{st} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Q)}{(qn * n)}}{N_1} \quad (15)$$

donde:

$Q$  = Pasajeros transportados durante un día en la ruta  $i$ .

$qn$  = Capacidad nominal del ómnibus.

$n$  = Número de viajes realizados en el día por la ruta  $i$ .

$N_1$  = Cantidad de  $\gamma_{sti}$  calculados.

El coeficiente de aprovechamiento de la capacidad dinámica del ómnibus ( $\gamma_{din}$ ) a diferencia de ( $\gamma_{st}$ ) determina la verdadera sobrecarga y fluctuaciones de ésta, así como el insuficiente confort de los pasajeros durante la realización de sus viajes laborales y socio-culturales.



Se puede definir el coeficiente de aprovechamiento de la capacidad dinámica como la relación entre el tráfico realizado y el tráfico posible, siendo expresado por:

$$\gamma_{din} = \frac{Q_v * L_v}{q_n * L_r} \quad (16)$$

donde:

$Q_r$  = Pasajeros transportados en la ruta durante un viaje (pasajeros).

$L_v$  = Distancia media de viaje de un pasajero en la ruta (Km).

$q_n$  = Capacidad nominal del ómnibus (pasajeros).

$L_r$  = Recorrido útil del ómnibus en la ruta durante un viaje (Km).

El valor ( $\gamma_{din}$ ) puede ser obtenido, como el valor medio de los ( $\gamma_{din}$ ) calculados para cada ruta durante el día de trabajo.

El coeficiente ( $\gamma_{din}$ ) puede ser determinado conociendo ( $\gamma_{st}$ ) por la siguiente demostración:

Si se conoce que ( $\gamma_{st}$ ) puede ser calculada por la relación  $\frac{Q_v}{q_n}$  y estos parámetros intervienen en la expresión (16), el coeficiente de aprovechamiento de la capacidad dinámica del ómnibus vendría expresada por:

$$\gamma_{din} = \frac{\lambda_{st} * L_v}{L_r} \quad (17)$$

### 3.9. Coeficiente de aprovechamiento del recorrido

Este coeficiente está influenciado por dos tipos de recorridos que son:

- a) Recorrido con pasajeros o productivo ( $L_{pi}$ ).
- b) Recorrido cero ( $L_{oi}$ ).

Puede ser calculado según la expresión:

$$\beta_i = \frac{L_{pi}}{L_{ti}} \quad (18)$$

donde:

$L_{ti}$  = Recorrido total del vehículo en la ruta  $i$  y, a su vez.

$L_{ti} = L_{pi} + L_{oi}$

El coeficiente que debe utilizarse en los análisis para la determinación global de la cantidad necesaria de ómnibus, es aquel que considere la media de los coeficientes ( $\beta$ ) de cada una de las rutas, es decir:

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{N} \quad (19)$$

### 3.10. Coeficiente de aprovechamiento del parque de omnibus. ( $\alpha_0$ )

Antes de explicar como se determina este coeficiente, se considera necesario definir primeramente algunos conceptos que intervienen en el coeficiente de aprovechamiento del parque.

- Vehículos - Días existentes.

Es la suma de los vehículos que están diariamente dedicados a la transportación de pasajeros.

- Vehículos - Días trabajados.

Es la suma de los vehículos que trabajan diariamente, considerando cualquier tiempo que lo hagan durante el día, aunque no completen la jornada de trabajo programado.

Se obtiene sumando día a día los vehículos físicos que trabajen en las transportaciones de pasajeros.

- Vehículos - Días en reparación.

Es la suma de los vehículos día a día, que han estado las 24 horas del día en mantenimiento técnico planificado, en reparación o en espera de realizarlos.

$$\alpha_0 = \frac{Adt}{Adx} \quad (20)$$

donde:

$Adx$  = Vehículos - días existentes.

$Adt$  = Vehículos - días trabajados

pero:

$$Adt = Adx - Adr - Adp \quad (21)$$

donde:

$Adr$  = Vehículos días en reparación.

$Adp$  = Vehículos días inactivos.

Este método de cálculo se utilizó para la ciudad de Santiago de Cuba con proyección al año 2000.

Los valores obtenidos de las variables que intervienen en la expresión de cálculo (2) se observan a continuación:

- Pasajeros transportados/día  
(Q) = 813 722 pasajeros/día.
- Velocidad de explotación  
(Vexp) = 15.8 Km/h.
- Tiempo de trabajo del ómnibus  
(Th) = 12.5 h.
- Coeficiente de aprovechamiento de la capacidad dinámica  
( $\gamma_{\text{din}}$ ) = 0.40
- Coeficiente de irregularidad de las transportaciones por horas del día  
(kc) = 1.54
- Coeficiente de irregularidad de las transportaciones según la longitud y dirección de las rutas  
(Kn) = 1.04
- Distancia promedio de viaje de un pasajero en el ómnibus  
(Lv) = 3.2
- Coeficiente de aprovechamiento del recorrido  
( $\beta$ ) = 0.98

Con el objetivo de obtener alternativas en cuanto a la cantidad de ómnibus necesarios en dependencia del nivel de calidad del servicio de transportación así como del servicio técnico al ómnibus, se elaboraron variantes sobre los indicadores  $q_n$  (capacidad nominal del ómnibus) y  $\alpha_0$  (coeficiente de aprovechamiento del parque) que son los que tienen mayor influencia en los aspectos antes señalados. En este caso se le asignaron diferentes valores, los que se muestran en la figura N° 1.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo permite ofrecer una idea del voluminoso proceso investigativo que hay que desarrollar para poder determinar la cantidad necesaria de ómnibus en una ciudad, demostrando a su vez que la utilización de cualquier expresión de cálculo dirigida a encontrar el número de ómnibus, conlleva a un profundo análisis técnico y de recopilación de información, así como del procesamiento de la información estadística necesaria para poder llegar a resultados concretos.

Además se considera que este estudio, puede servir como metódica de trabajo para cualquier especialista en transporte, que se enfrente en la determinación de la cantidad de material rodante (ómnibus) necesario para realizar las transportaciones urbanas de una ciudad a corto y mediano plazo; significando que la satisfacción total de las necesidades de la población en las transportaciones por ómnibus está relacionada con la necesidad de resolver, en primer lugar, el problema en las horas "pico" en las ciudades, a través de una planificación del desarrollo de este, que garantice una alta comodidad en el servicio y gastos mínimos de tiempo de espera y en el viaje.