5.1. Introducción .

Para realizar un estudio de tráfico es necesario dividir el área urbana en varias zonas, representadas por centroides .

La demanda de tráfico que existe en una determinada red será, por tanto, el número de viajes que se pretendan realizar desde cada centroide a cada uno de los demás.

La matriz origen-destino es precisamente el instrumento que expresa cuantitativamente el número de viajes que se van a realizar entre cada zona. En efecto, cada elemento de la matriz (M_{ij}) representa el número de viajes que van a tener lugar desde una zona origen O_i a una zona destino D_j. Obviamente, resultará una matriz cuadrada de orden el número de centroides de la red .

La construcción de una matriz origen-destino se realiza en varias etapas:

1. Generación de viajes, en donde se calcula el número de viajes emitidos y atraídos por cada una de las zonas en que se ha dividido el área urbana, para cada motivo de viaje.

2. Reparto horario, consistente en dividir cada uno de los vectores de emisiones y atracciones en los diferentes períodos del día que se vayan a estudiar.

3. Distribución . Consiste en la obtención de distintas matrices origen-destino para cada motivo de viajes y período de tiempo. Se realiza a partir de las emisiones y atracciones, y la matriz del año base .

4. Reparto modal. En el cual se divide la demanda de tráfico en los diferentes modos de transporte disponibles, es decir: vehículo privado, autobús, tren de

cercanías, metro... Es al final de esta etapa cuando se dispondrá de diferentes matrices origen-destino para cada modo de transporte que se desee.

5.2.- Modelos de generación de viajes .

El objeto de estos modelos es el de obtener una estimación del número de viajes originados o con destino en cada zona de la región objeto de estudio para el periodo de tiempo que se haya establecido .

Los modelos de Atracción-Generación tienen como objetivo obtener para cada zona objeto de estudio un par de valores (a_i , g_i) que expresen el total de viajes atraídos y generados por la correspondiente zona. Los modelos habituales consideran la utilización de fórmulas polinómicas del tipo $g = \sum_i a_i \; x_i + k$; donde los coeficientes son el resultado de un análisis de regresión .

El primer factor ligado a la generación de viajes es el número de vehículos que posee la familia, ya que un número elevado ofrece una mayor posibilidad de desplazamiento en comparación con el transporte público. El segundo factor que influye en los desplazamientos es la renta familiar. La estructura familiar es un factor determinante considerando y dividiendo sus elementos en grupos clasificados por edad, sexo u ocupación. Otro factor explicativo del número de viajes generados puede ser la densidad residencial del área, que a su vez puede depender de otros factores como renta familiar o existencia de transporte público.

Los factores que influyen sobre las atracciones están menos vinculados con la unidad familiar y sus rentas, y más con las oportunidades que ofrece la futura zona destino. Entre los factores que influyen podemos considerar las infraestructuras de transporte en la zona, calificación y disponibilidad del suelo.

5.3. Reparto horario .

Es evidente que la demanda de viajes en un área urbana no es uniforme a lo largo del día. Sin embargo, el modelo estático que se emplea requiere que la variable flujo sea constante a lo largo de todo el período de análisis. Por esto, es necesario repartir la demanda total dada en la matriz origen-destino global, entre períodos de tiempo en los que ésta se considera estable, sobre los que sí se podrá realizar el proceso de asignación. En resumen, se trata de distribuir las emisiones y atracciones de cada zona a lo largo del tiempo. Para realizar esta labor, es interesante la clasificación por motivos de viajes.

Hay varias maneras de realizar el reparto horario (no sólo en un día). Son las siguientes :

1. Reparto estacional. A lo largo de los diferentes meses del año. En esta clasificación es interesante notar la diferencia existente entre los meses de verano y el resto, debido lógicamente a la disminución de población en las ciudades por las vacaciones.

2. Reparto semanal. E1 producido entre los diferentes días de la semana. La demanda es muy similar de lunes a viernes, pero varía notablemente los fines de semana.

3. Reparto diario u horario. El más importante de los tres, como se puede intuir. Va encaminado a determinar la demanda de tráfico en horas punta (picos de la mañana, tarde o mediodía), que es cuando la asignación es realmente interesante debido al problema que se plantea en la ciudad.

Es interesante hacer notar que las variaciones a lo largo del día y, por tanto la situación de las horas punta, no son iguales para todas las zonas geográficas. Esto es debido a los diferentes horarios laborales y a las distintas costumbres de cada país.

A continuación se representa en la figura siguiente , la demanda de tráfico para cada hora del día en distintos puntos de la ciudad de Sevilla (Fig. 5.3.1 a Fig.5.3.6.), indicándose la ubicación de los puntos de medida, fig.5.3.7.

Jiménez Becerril

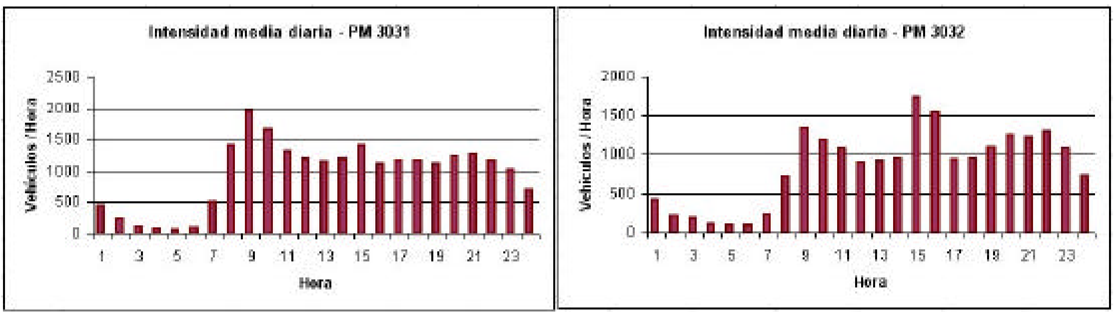

Fig.5.3.1. Punto de Medida 3031 y 3032

Arjona

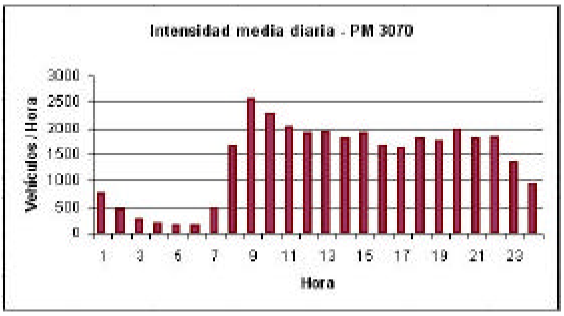

Fig.5.3.2..Punto de Medida 3070

Paseo Colón

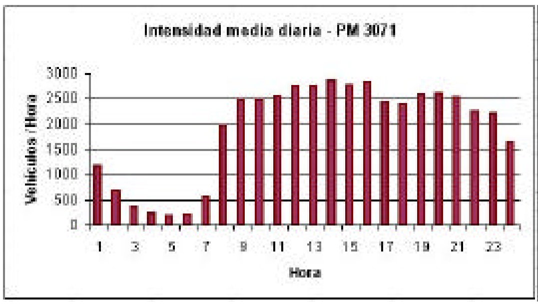

Fig.5.3.3.Punto de Medida 3071

Paseo de las Delicias

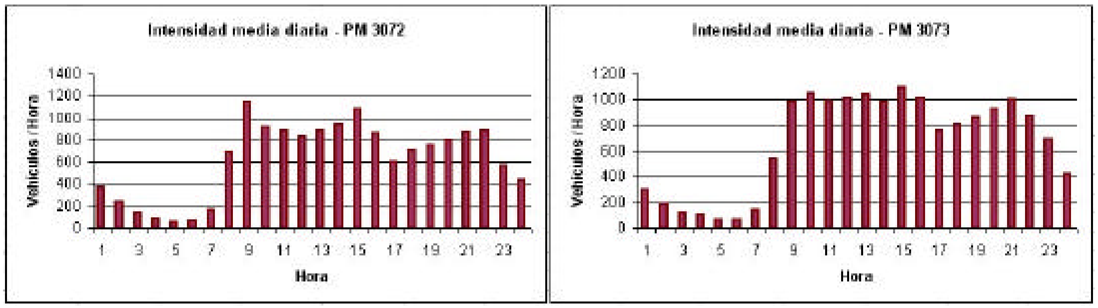

Fig.5.3.4. Punto de Medida 3072 y 3073

Torneo

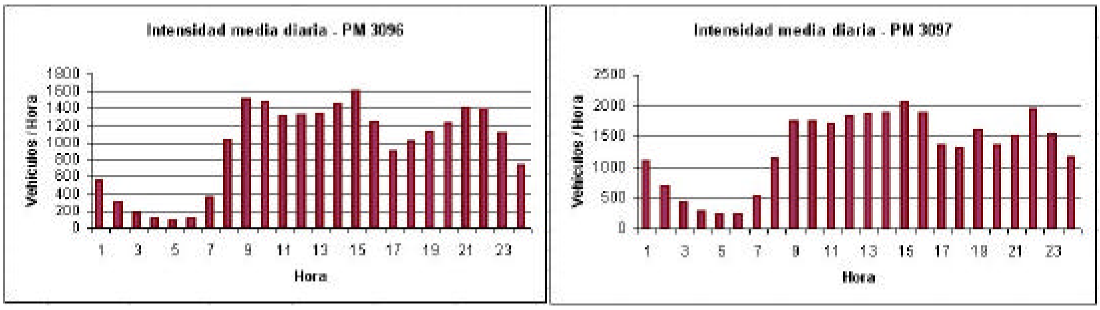

Fig.5.3.5. Punto de Medida 3096 y 3097

Ronda Urbana Norte

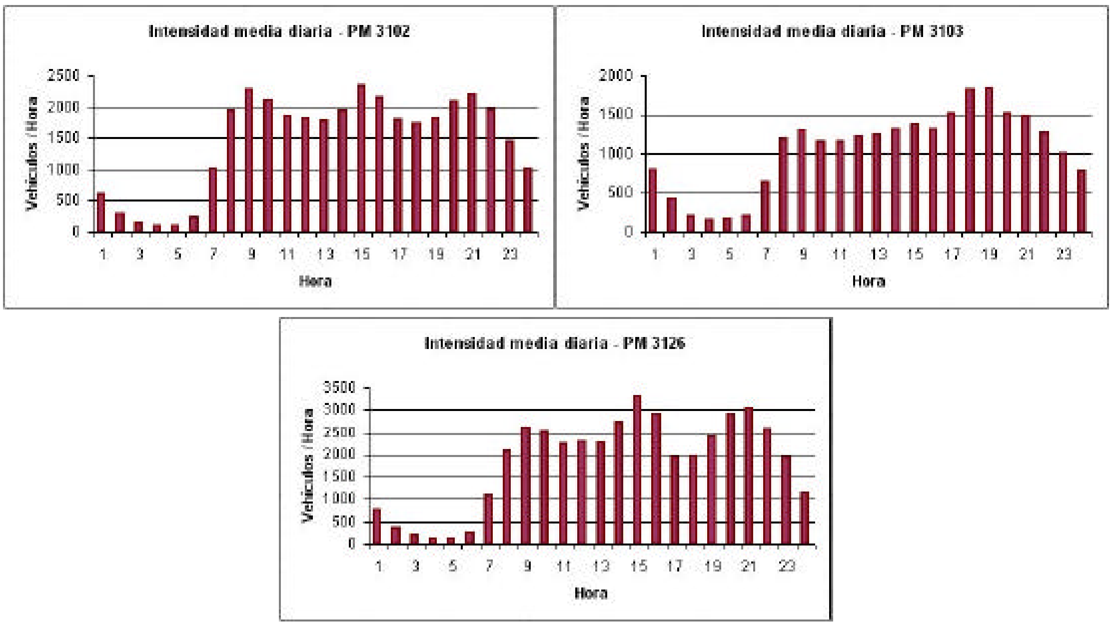

Fig.5.3.6.Punto de Medida 3102, 3103 y 3126

PM	Localización	Origen	Destino
3031	Jiménez- Becerril	Pte. Alamillo	Pte. Barqueta
3032	Jiménez- Becerril	Pte. Barqueta	Pte. Alamillo
3070	Arjona	Pza. Armas	Pte. Triana
3071	Paseo Colón	Pte. Triana	Pte. San Telmo
3072	Paseo de las Delicias	Pte. San Telmo	Glta. Marineros Voluntarios
3073	Paseo de las Delicias	Glta. Marineros Voluntarios	Pte. San Telmo
3096	Torneo	Pte. Barqueta	Pza. Armas
3097	Torneo	Pza. Armas	Pte. Barqueta
3102	Ronda Urbana Norte	Glta. San Lázaro	Glta. Olímpica
3103	Ronda Urbana Norte	Glta. Olímpica	Glta. San Lázaro
3126	Ronda Urbana Norte	Avda. Kansas City	Avda. Pino Montano

5.3.7.Ubicación de los puntos de medida consultados

Nota: Las consultas a los puntos de medida se corresponden al período del 16/06/2003 al 20/06/2003.

Se puede observar que existen dos picos importantes , en las franjas horarias de ocho a nueve de la mañana (por motivo de entrada al trabajo y llevar los niños al colegio) , y a las dos de la tarde (vuelta a casa del trabajo) . Esta última es un poco mayor , pero podría considerarse como hora punta cualquiera de las dos franjas horarias .

5.4. Modelos de distribución de viajes .

Los modelos de distribución de viajes entre zonas tratan de determinar la distribución de los viajes generados o atraídos en una zona entre los posibles destinos en otras zonas . Los modelos reciben como datos de entrada los resultados a_i y g_i (atracción y generación) obtenidos mediante los modelos de atracción y generación de viajes . El objetivo de los modelos de distribución es conocer en número de viajes que se realizan entre cada par de zonas .

Sea v_{ij} el número de viajes generados por la zona i y atraídos por la zona j , el conjunto de los v_{ij} puede ser ordenado en forma de matriz cuadrada de orden n , (número de zonas) denominada matriz de viajes

$$\begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & \\ v_{21} & v_{22} & \dots & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nn} \end{bmatrix}$$

El objeto de los modelos de distribución es proporcionar herramientas que permitan obtener los elementos de la matriz de viaje . De la definición de los elementos v_{ij} se deducen las siguientes relaciones por filas :

$$v_{11} + v_{12} + \ldots + v_{1n} = g_1$$

$$v_{21} + v_{22} + \ldots + v_{2n} = g_2$$

....

....

$$v_{n1} + v_{n2} + \ldots + v_{nn} = g_n$$

Análogamente :

$$v_{11} + v_{21} + \ldots + v_{n1} = a_1$$

$$v_{12} + v_{22} + \ldots + v_{n2} = a_2$$

....

....

$$v_{1n} + v_{2n} + \ldots + v_{nn} = a_n$$

Dado que los valores de a_i y g_i son conocidos , de dispone de un sistema de (n + n) ecuaciones con n^2 incógnitas (v_{ij}) , si bien existen dependencia lineal del segundo grupo de ecuaciones con respecto al primero , por tanto el sistema tiene infinita soluciones .

A continuación se mostrarán distintos modelos de distribución.

5.4.1. Modelos Gravitatorios.

Los modelos gravitatorios son considerados como modelos generales ya que sus posibilidades de empleo son muy imprecisas. Fundamentan su hipótesis en una supuesta analogía entre ciertos procesos socio-espaciales. La forma general del modelo gravitatorio viene determinada por la siguiente fórmula:

$$I_{ij} = K \frac{P_i Q_j}{F_{ij}}$$

donde los elementos que aparecen en la fórmula representan:

I_{ij} : Interacción entre la zona i y la zona j, que puede expresar el flujo de viajeros o de mercancías, volumen de ventas, etc.

P_i : Variable de producción de la zona i, que expresa la capacidad generadora de la zona, pudiendo expresar población, número total de trabajadores, renta, número total de vehículos, etc.

Q_j : Variable de servicio de la zona j, que expresa su capacidad atractora, puede ser medida en función de la oferta de empleo disponible, superficie dedicada a industria, centros comerciales, etc.

F_{ij} *:* Función de rozamiento o fricción que expresa la dificultad de relación entre la zona i y la zona j.

La elección de la medida de dificultad se realiza dependiendo de los datos disponibles. Los primeros estudios realizados emplearon como medida de fricción la distancia entre las zonas o bien alguna potencia de la distancia. Posteriores enfoques usaron una función de fricción basada en magnitudes económicas, tal como el coste del transporte, magnitud muy usada cuando se consideran diferentes modos de transportes. Cuando la estimación del coste muy costosa se suele sustituir por el tiempo empleado en superar la distancia física entre ambas zonas. Otras formas de evaluar la función de fricción o rozamiento es mediante estudios de consumo de combustible, número de transbordos o paradas, etc.

La aplicación de un modelo de tipo gravitatorio al caso del transporte ha de llevar una expresión del número de viajes generados en i y atraídos en j de la forma siguiente:

$$v_{ij} = \mathrm{f}\,(g_i\ ,\ a_j\ ,\ K_{ij}\ ,\ f_{ij}\left(u_{ij}\right)^{-a}\ )$$

donde :

v_{ij} : Viajes desde i a j.

g_i *:* Número total de viajes generados en la zona i.

a_j : Número total de viajes atraídos por la zona j.

K_{ij} : Factor de corrección determinado de forma que:

$$g_i = \sum_j v_{ij}$$

$$a_j = \sum_i v_{ij}$$

$f_{ij}\left(u_{ij}\right)$: función de rozamiento o fricción.

a : parámetro a determinar por el ajuste.

El volumen de viajes entre las zonas i y j es proporcional al número total de viajes que se generan en i y los que se atraen en j e inversamente proporcional a una función de rozamiento o fricción .

5.4.2. Modelos de oportunidad.

Constituye un tipo de modelos de distribución zonal en los que el factor de rozamiento pierde peso y la separación espacial se interpreta en términos del número de oportunidades de ofertas intermedias a lo largo de cada itinerario. Elegido un origen i las hipotéticas zonas de destino, se clasifican en orden de separación creciente respecto a la zona i .

Este tipo de modelos fue formulado por primera vez por Stouffer en la década de los 40, diseñado especialmente para la asignación de un colectivo de trabajadores, con residencia supuestamente establecida, a un conjunto de zonas atractoras de características muy similares. La hipótesis de Stouffer es que el viajero decidirá su punto de destino, en este caso su lugar de trabajo, de tal manera que el viaje sea lo más corto posible, aumentando la longitud de éste sólo si no existe un destino aceptable a una distancia menor. En la aplicación del modelo la primera oportunidad de oferta tomada en consideración es la que se encuentra más cerca del origen y tiene una posibilidad de aceptación que previamente ha sido definida de forma homogénea para toda la región objeto de estudio. El modelo postula la siguiente relación:

$$t_{ij} = g_i \, P_{ij}$$

donde P_{ij} es la probabilidad de que el viaje generado en i sea atraído a j, probabilidad cuya expresión es preciso calcular. Para ello se introducen los siguientes elementos:

D_j : Numero de oportunidades que se ofrecen en el destino j.

V_j : Número de oportunidades que se ofrecen hasta el destino j, por lo que

$$D_j = V_j \text{-} V_{j-1}$$

L : Probabilidad de aceptar una oportunidad cualquiera, que se supone idéntica para todas las oportunidades, e igual, por tanto, al inverso del total de estas.

Q_{ij} : Probabilidad de que un individuo que comenzó su viaje en i continué más allá de j.

A partir de la expresión resultante se puede dar forma a la expresión t, que postula el modelo, la cual será:

$$t_{ij} = g_i \, P_{ij} = g_i \left(Q_{ij-1} - Q_{ij}\right) = g_i \, k_i \left[e^{-LV_{j-1}} - e^{-LV_j}\right]$$

Esta es la expresión usual del número de viajes realizados. Obsérvese que, obviamente, la suma de las probabilidades debe ser l, lo que quiere decir que la propia estructura del modelo garantiza que han de cumplirse las condiciones restrictivas en cuanto a las sumas de filas de la matriz T .

5.4.3. Modelos de proyección de matrices de viaje.

Existen procedimientos directos, aunque en general bastante rudimentarios, para obtener matrices de distribución de viajes en un año horizonte a partir de los datos o obtenidos en un año base. Ello les convierte en instrumentos de previsión desaconsejados para el análisis a largo término, pero no así en el corto 0 medio plazo donde pueden proporcionar resultados bastantes fiables y relativamente fáciles de obtener. Entre estos métodos pueden citarse los siguientes:

- Método del factor constante

  Es el más elemental de todos y consiste en la suposición de un crecimiento lineal a lo largo del periodo considerado, tanto de atracciones como de generaciones, todo en igual proporción.

- Método del factor a promedio .

  En este caso se supone que el factor de crecimiento es distinto según sea la zona atractora y generadora .

- Método de Fratar .

Se trata de un procedimiento sustancialmente análogo al descrito anteriormente , es decir , que también aquí se supone conocido el valor de atracciones y generaciones para el año base y a partir de su relación se obtiene un factor que da para cada elemento de la matriz de viajes , en el año base , el correspondiente elemento en el año horizonte.

Existen muchos otros métodos mixtos que usan matrices antiguas y conteos actuales.

5.4.4. Procedimiento de balanceamiento bidimensional .

El método fue desarrollado por Kruithof en 1937 para la predicción del tráfico de telefonía en Holanda. Posteriormente Fratar (1954) y Furness (1965) aplicaron el algoritmo al contexto de distribución de viajes .

El procedimiento se estructura en el calibrado de los factores de generación y atracción de viajes. Este procedimiento es de ámbito general y puede ser aplicado a otros métodos tales como métodos de crecimiento y procedimientos gravitatorios .

El procedimiento finaliza cuando las variaciones que se producen en los factores de equilibrado son muy pequeñas o bien el número de iteraciones realizadas son las especificadas como criterio de finalización .

5.4.5. Procedimiento de balanceamiento tridimensional.

Los modelos de balanceamiento tridimensional utilizan una estratificación adicional de los viajes.

El modelo bidimensional emplea dos factores de corrección, el primero sobre los orígenes de los viajes y el segundo sobre los destinos. El tridimensional incorpora un tercer factor que recoge la división de cada par origen-destino en clases basadas en la fricción existente en la realización del desplazamiento entre el par de zonas (i ,j) .

El modelo de distribución de viajes toma como entrada los valores de fricción existente entre cada par de zonas, $f_{ij}\left(t_{ij}\right)$, los datos de generación de viajes , g_i , los datos de atracción de viajes, a_j , los datos sobre la nueva dimensión incorporada , F_k , y por último la matriz de acotaciones de clases.

El algoritmo de balanceamiento tridimensional calcula la matriz de viajes v_{ij} mediante la calibración de los coeficientes, b_j y $g_{k_{ij}}$, que satisfacen :

$$v_{ij} = a_i \ b_j \ f_{ij}\left(t_{ij}\right) \ g_{k_{ij}}$$

$$g_i = \sum_j v_{ij} \qquad a_j = \sum_i v_{ij}$$

$$\sum_{(i,j)k_{ij}} v_{ij} = F_k \ .$$