

DIAGNOSTICO AEROFOTOGRAFICO DE TRANSITO  
EN CALLE PAICAVI, CIUDAD DE CONCEPCION.

Rodrigo Eduardo Fernández Aguilera  
Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de  
Concepción.  
Casilla 53 - C, Concepción.

Sergio Marín Rojas  
Departamento de Tánsito, Municipalidad de Concepción.  
Av. L. B. O'Higgins 525, 4to. Piso, Concepción.

RESUMEN

Calle Paicaví de Concepción constituye la principal vía de acceso y evacuación de la Autopista Concepción-Talcahuano, arteria de alto tráfico urbano. No obstante, sus características físicas, geométricas y operacionales hacen de ella un cuello de botella para el tránsito intercomunal.

El estudio pretende realizar un diagnóstico de los problemas de congestión que tienen lugar en la vía en cuestión. El método utilizado serán las fotografías aéreas obtenidas durante la hora punta del mediodía, basándose en estudios anteriores.(Wagner y May, 1963; Fernández, 1986).

Paralelamente, se evalúa el impacto de la conexión de la Av. General Bonilla con la Autopista, sobre el tráfico de calle Paicaví.

## 1. INTRODUCCION.

El diagnóstico de los problemas de congestión de tránsito a nivel de ejes viales constituye un problema no poco frecuente que debe enfrentar la ingeniería de tránsito.

En efecto, la apreciación de la existencia de problemas de congestión en un eje vial, manifestada en sobresaturaciones, colas de vehículos, demoras, reducciones de velocidad, etc; no permite discriminar fehacientemente cuáles son las causas de dichos problemas, ni su exacta ubicación. Puede tratarse de fenómenos de tipo operacional (semáforos no coordinados, tiempos de verde insuficientes, estacionamientos en la calzada, paradas de locomoción colectiva, señalización deteriorada, etc.) como físicos (problemas de diseño geométrico, pavimento en mal estado, etc.).

Para abordar un diagnóstico en tales circunstancias, será necesario realizar un estudio global de tránsito en todo el eje. La ejecución de un estudio de este tipo por métodos tradicionales, demanda una importante cantidad de recursos en horas - hombre, tanto en labores de terreno como de ingeniería. Estos serán más importantes cuanto mayor sea la longitud de la vía que se quiera investigar.

Si los problemas son generalizados, buena parte de la información se tendrá disponible de la etapa de diagnóstico, para abordar las soluciones. Contrariamente, si el diagnóstico indica que el problema es puntual, se han perdido, eventualmente, recursos que podrían haberse dedicado a otros estudios y/o actividades.

En este contexto, la utilización de la fotografía aérea en estudios de diagnóstico, reúne como ventajas sobre los métodos tradicionales su amplia cobertura, rapidez de recolección de información, minimización del tiempo de "terreno" y necesidad de pocos recursos humanos.

El presente estudio constituye una aplicación de la técnica de diagnóstico aerofotográfico de tránsito en una importante vía de la ciudad de Concepción donde existen algunos problemas de congestión que es necesario precisar e identificar, para, con posterioridad, abordar sus soluciones en base a estudios detallados en los puntos conflictivos.

Conjuntamente, se evalúa el impacto que tiene sobre calle Paicaví de Concepción, una nueva conexión vial que debería eliminar su flujo de vehículos pesados. Además, se contrasta la medición de velocidades realizada fotográficamente, con una medición de terreno en los mismos tramos.

## 2. METODO DE DIAGNOSTICO.

El método de diagnóstico utilizado se basa en la obtención de curvas de isoconcentración vehicular del Área de estudio, mediante fotografías aéreas. Sus propiedades permiten discriminar la ubicación, importancia y causas probables de los fenómenos de congestión (Wagner y May, 1963; Fernández, 1986).

Básicamente, consiste en realizar vuelos fotográficos a intervalos regulares (5 a 15 minutos) sobre la vía bajo análisis durante un periodo determinado (horas punta, por ejemplo). Esto provee de una visión en el espacio (a lo largo del eje) y el tiempo (durante el periodo de estudio) de la situación de densidad de tráfico.

De esta forma, dividiendo la vía en tramos consecutivos de características homogéneas (cuadra a cuadra, entre intersecciones semaforizadas, etc) se obtienen, de cada una de las fajas de fotos, los valores de concentración por tramos. Dicho valor se asigna a un punto representativo del tramo (intersección aguas abajo, por ejemplo). Como resultado de todas las fajas de fotos se tendrá una nube de puntos con un valor de concentración asociado, en un plano espacio-tiempo. Sobre él se pueden trazar curvas de contorno que unan puntos de igual nivel de concentración vehicular, usando la misma mecánica que para el trazado de curvas de nivel de un plano topográfico. Esto genera las denominadas curvas de isoconcentración vehicular (figura 1).

Las curvas de isoconcentración poseen ciertas propiedades útiles para diagnosticar problemas de congestión. Entre ellas se encuentra el nivel de congestión ( $k$ ), su extensión ( $S$ ), la velocidad de propagación de la congestión (VPC) y la tasa de variación de la congestión (TVC), todas las cuales se definen en la figura 1.

La existencia de semáforos en la vía produce estados forzados de sobresaturación que varían en forma cíclica en el tiempo, influyendo en los valores instantáneos de concentración vehicular obtenidos por las fotos aéreas. Estos distorsionan la forma de las curvas de isoconcentración y las conclusiones inferidas de sus propiedades. En estos casos, los valores instantáneos de concentración deben reducirse a valores promedios en un ciclo típico del semáforo midiendo otras variables desde las fotos aéreas (velocidad, porcentaje de flujo de incorporación en la corriente principal, razón de verde efectivo del semáforo, instante de la observación dentro del ciclo).

### 3. APLICACION.

#### 3.1. Descripción del lugar.

Calle Paicaví de Concepción es una vía urbana de la ciudad del tipo colectora-distribuidora y de servicio que une la red vial céntrica con la Autopista Concepción - Talcahuano, esta última de elevados niveles de flujo. El tramo bajo análisis comprende una longitud de 2.320 m., entre calle Los Carzeras y Alonso de Ribera, con circulación bidireccional. El ancho de la vía en este sector es de 10.50 m., a excepción del tramo Bulnes - Carrera con 20.10 m.(365 m. de largo).

La vía cuenta con prohibición de estacionamientos desde calle Bulnes hacia el norte en ambos costados y posee un flujo importante de locomoción colectiva que une las comunas de Talcahuano y Concepción.

Calle Paicaví es cruzada por cuatro vías principales en el tramo bajo análisis. Calle Bulnes, que es usada como conexión entre Prat y la ruta hacia Penco; calle Ejército que sirve de conexión más directa hacia el sector poniente de la ciudad; calle Juan de Dios Rivera que alimenta a Paicaví de los flujos provenientes de centro con dirección al Puerto por Tucapel; y calle Gutierrez por la que circula la mayor parte del tránsito desde y hacia el Barrio Norte y Villa CAP.

En las intersecciones mencionadas la vía cuenta con semáforos de tiempo fijo que funcionan de acuerdo a dos programas de coordinación según las horas del día. Los desfases son según el sentido de avance de los programas (Concepción-Talcahuano o viceversa). La intersección Bulnes/Paicaví opera en forma aislada.

Finalmente, como característica física importante, se debe destacar que Paicaví es cruzada a nivel por la vía férrea hacia Tomé, utilizada esporádicamente por convoyes de carga.

#### 3.2. Descripción del Experimento.

##### 3.2.1. Selección de Tramos.

Para efectos del análisis, la vía se dividió en 15 tramos (tabla 1). Los extremos de los tramos fueron escogidos en la medida que pudieran considerarse eventuales incorporaciones de vehículos a la ruta, es decir, entre intersecciones. La longitud media de los tramos resultó del

orden de los 120 m., con excepción de los extremos.

### 3.2.2. Toma de Fotos.

La recolección de información de terreno se realizó mediante fotografías aéreas a color en escala 1:5000 y 60% de recubrimiento. El período de estudio correspondió a la hora punta del medio día, entre 12:30 y 13:30 horas de un día de semana típico (martes). Se realizaron 12 vuelos sobre la vía cada 5 minutos, generándose fajas continuas de 6 tomas cada una. El intervalo entre exposiciones fué de 10 segundos.

La recopilación de datos se efectuó en dos fechas durante el primer semestre de 1987. La primera el 31 de marzo, cuando aún la vía Alonso de Ribera no era entregada al uso. La segunda, el 24 de junio en que ya se contaba con la conexión Autopista - Av. Gral. Bonilla, por A. de Ribera. Con ello se esperaba una derivación del tránsito pesado (camiones) por esa ruta, sin necesidad de tener que ingresar a calle Paicaví desde calle Bulnes.

El objetivo buscado era, por una parte efectuar un diagnóstico de la situación de tránsito actual; y por otra comparar ésta con la producida antes de la conexión de la Av. Gral. Bonilla con la Autopista Concepción - Talcahuano.

### 3.2.3. Medición de Variables.

Con los mosáicos de fotos se realizaron cómodas tomas de datos en escritorio y, aquellos que la metodología aconseja, fueron recolectados directamente en terreno para realizar las correcciones necesarias.

#### 3.2.3.1. Concentración Vehicular.

Se realizó un conteo estático en las fotos por tramos y sentidos de tránsito, cuantificando la cantidad de vehículos en el tramo aguas arriba de cada intersección. En esta etapa se requirió de especial cuidado de modo de identificar los vehículos para no contabilizarlos en forma repetida, dado que el avance del avión coincidió en ocasiones con el sentido de circulación de los vehículos. Para el efecto, contribuye el hecho de contar con fotografías en color.

#### 3.2.3.2. Porcentajes de Incorporación.

Dado que existen cruces regulados por semáforos en la vía, es necesario cuantificar la incorporación de vehículos aguas arriba de la intersección. Lo anterior se ejecutó en las intersecciones de Bulnes, Ejército, Juan de Dios Rivera y Manuel Gutiérrez.

### 3.2.3.3. Vélocidades.

Atendiendo a que los lapsos entre exposiciones son conocidos (10 segundos) se realizaron mediciones fotográficas de velocidades, en los tramos semaforizados. Con ellas se obtiene la velocidad media espacial de los vehículos por tramo, promediando armónicamente las velocidades puntuales muestreadas.

Con esta información, más los porcentajes de incorporación y los parámetros de funcionamiento de los semáforos (razón de verde efectivo), se pueden reducir los valores instantáneos de concentración a valores medios por ciclo del semáforo.

Posteriormente a la toma de fotos y a su evaluación correspondiente, se efectuó una medición de velocidades puntuales en terreno, en los mismos tramos en donde se midieron velocidades fotográficamente. Esto se hizo mediante un radar Kustom HR - 12, con posterioridad a la entrega de la conexión Av. Gral. Bonilla - Autopista. El tamaño de muestra utilizado permitió una precisión del 90%, con una probabilidad de ocurrencia del 95%.

La media armónica de estas velocidades permite obtener la velocidad media espacial en cada tramo, lograda ahora desde terreno. El objetivo de este último experimento fué evaluar la precisión de los datos fotográficos de velocidades.

### 3.2.3.4. Operación del sistema de control.

Como se mencionó en el punto 3.1., Paicaví es regulada por cuatro intersecciones semaforizadas, tres de ellas interconectadas (Gutiérrez, J.D. Rivera y Ejército), con un ciclo común de 70 segundos, verdes presentados de 37 segundos, amarillos de 3 segundos y desfases de 22 segundos. La cuarta intersección semaforizada (Bulnes) está aislada, cuenta con un ciclo de 60 segundos, verde presentado de 32 segundos y 4 segundos de amarillo. Los tiempos de ciclo y repartos son fijos a lo largo del día, existiendo sólo un cambio en el sentido de los desfases (a las 13:00 horas), manteniéndose su valor absoluto.

## 3.3. Diagnóstico.

### 3.3.1. Niveles de concentración.

Con el objeto de realizar el diagnóstico de la congestión de tránsito en calle Paicaví, se procedió a definir niveles de concentración para el trazado de curvas de

isoconcentración.

Se utilizó la relación entre el grado de saturación y la concentración, derivada de asumir una relación lineal velocidad-concentración y de un valor teórico de la concentración de embotellamiento ( $k_c$ ) igual a 200 veh./Km-pista (ec. 1).

$$x = 0,02 k (1 - 0,05 k) \quad (1)$$

donde:  $x = q/Q$  : grado de saturación del elemento vial (%)  
 $q$  : flujo en el elemento vial (veh/h)  
 $Q$  : capacidad del elemento vial (veh/h)  
 $k$  : concentración vehicular (veh/Km-pista)

En base a estudios anteriores que relacionan el grado de saturación con el comportamiento de las demoras (Gibson, 1981), se trazaron curvas de isoconcentración para valores de  $x$  igual a 1,0; 0,9; 0,8 y 0,65. Esto origina cuatro niveles respectivos de concentración: 100, 68, 55 y 41 veh/Km-pista.

Paralelamente, se definió como el nivel de concentración que establece el límite entre el estado congestionado y no congestionado, al nivel  $k_c = 68$  veh/Km-pista. Es decir, el correspondiente a  $x = 0,9$ . La justificación de esta elección se fundamenta en el hecho que, a partir de dicho valor de saturación, las demoras comienzan a manifestarse fuertemente en las intersecciones, cambiando de un comportamiento lineal a uno exponencial con los flujos.

Con esta definición de  $k_c$ , es posible identificar los sectores de la vía bajo análisis donde se producen cuellos de botella. Se definirá como tal aquella intersección más cercana al punto donde se da el nivel  $k_c$  más temprano.

### 3.3.2. Diagnóstico de la situación actual.

A partir de las curvas de isoconcentración mostradas en las figuras 2 y 3, es posible realizar el diagnóstico de tránsito de calle Paicaví, para cada uno de los sentidos de circulación.

En ellas puede apreciarse que, durante el periodo de análisis, se producen mayores problemas de congestión en la dirección Talcahuano-Concepción, producto de la descarga de la Autopista sobre calle Paicaví. En el sentido contrario (de Concepción a Talcahuano), los problemas observados son de segunda importancia y muy puntuales.

Hacia Concepción, el tránsito por Paicaví presenta tres cuellos de botella: J.D. Rivera, Ejército y Bulnes. Hacia Talcahuano, existe sólo un cuello de botella: J.D. Rivera. Las características de ellos se muestran en la tabla 1.

Tabla 1 : Identificación, jerarquización y causas de los cuellos de botella en Paicaví.

| CUELLO<br>DE<br>BOTT-<br>E-<br>LIA. | ÍNDICES GLOBALES     |                                | ÍNDICES INTERNOS     |                    | ÍNDICES CAUSALES    |                    | CARACTERÍSTICAS          |                          | GRAVEDAD<br>Y<br>JERARQUIA |         | CAUSA<br>PROBABLE<br>DE LA<br>CONGESTION |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------|--|
|                                     | Máx.niv.<br>de conc. | Zona de<br>influen.<br>niv. km | Duración<br>congest. | Intens.<br>niv. kc | Duración<br>crec. k | Tasa de<br>dism. k | Tasa de<br>congest. cola | DE LA<br>CONGESTION      | DE LA<br>COLA              |         |  |
| RIVERA<br>(1)                       | 60                   | 40                             | 20,0                 | 57                 | 13,3                | 13,0               | 6,5                      | intensa y<br>breve       | de rápido<br>crecimiento   | regular | regulación<br>inadecuada<br>(III)        |
| EJER-<br>CITO<br>(1)                | 68                   | 80                             | 8,6                  | 67                 | 6,2                 | 13,0               | 6,5                      | intensa y<br>persistente | moderada y<br>estable      | máxima  | regulación<br>inadecuada<br>(III)        |
| BULNES<br>(1)                       | 100                  | 40                             | 7,1                  | 57                 | 8,0                 | 3,7                | 8,7                      | intensa y<br>persistente | moderada y<br>estable      | máxima  | capacidad<br>insuficiente<br>(II)        |
| RIVERA<br>(2)                       | 100                  | 40                             | 75,0                 | 27                 | 26,7                | 26,0               | 26,0                     | moderada<br>y breve      | importante<br>y fugaz      | menor   | demandas<br>puntuales<br>(IV)            |

(1) : Dirección Talcahuano-Concepción  
 (2) : Dirección Concepción-Talcahuano  
 n : 55 veh/km-pista  
 c : 68 veh/km-pista

En sentido Talcahuano-Concepción, desde el punto de vista de su importancia, la intersección más conflictiva es la de Picaví/Bulnes. Se alcanza en ella un nivel de concentración vehicular máximo de 100 veh/Km-pista, con una zona de influencia de la congestión de 40 metros aguas arriba de la intersección. Los índices internos de duración del nivel de congestión inminente ( $km = 55$  veh/Km-pista) y de la intensidad de la congestión (extensión aguas arriba del nivel  $kc$  sobre la del nivel  $km$ , expresada en %), presentan una combinación del tipo baja-alta (7,1 m/min. y 57%, respectivamente), lo que se traduce en una congestión intensa y persistente, de máxima gravedad.

La combinación de los índices causales, VPC del nivel  $kc$ , TVC creciente y TVC decreciente son del tipo baja-baja-baja (8,0 m/min., 3,7 y 8,7 veh/Km-pista/min., respectivamente). Esto confiere a la cola que se forma características de largo moderado y temporalmente estable. La causalidad probable del cuello de botella se refiere a capacidad insuficiente, ya sea por regulación o infraestructura. Su gravedad puede ser catalogada, por lo tanto, como mayor.

Le sigue en importancia la intersección Paicaví/Ejército. Sin embargo, el máximo valor de concentración es menor (68 veh/Km-pista), pero con una mayor zona de influencia de la congestión (80 m. aguas arriba). Los índices internos de la congestión en ese punto presentan una combinación del tipo baja-alta, al igual que en Bulnes. Esto motiva una congestión de similares características y gravedad, pero de menor jerarquía. Fundamentalmente por el nivel máximo de concentración alcanzado.

Respecto de los índices causales, su combinación es de la forma baja-alta-baja (6,2 m/min., 13 y 6,5 veh/Km-pista/min.). Esto produciría una cola de longitud moderada pero de rápido crecimiento. Su causalidad tiene relación con una regulación inadecuada, la que es de regular importancia.

El tercer cuello de botella, Paicaví/J.D. Rivera, produce una congestión intensa pero breve, de regular gravedad. En efecto, los índices globales respectivos son 68 veh/Km-pista y 40 m/min.. Los índices internos son de una combinación alta-alta: 20 m/min. y 57%. El primero entrega su duración (breve) y el segundo su intensidad, la que se acerca al límite inferior de lo que se puede llamar "congestión intensa" (>50%). Los índices causales son del tipo alta-alta-baja, generando una cola de rápido crecimiento. Su causa radica, también, en una regulación inadecuada, pero con una importancia relevante; producto de la alta tasa de crecimiento de la congestión, de su alta expansividad aguas arriba y de una baja tasa de disminución de la concentración.

Para el sentido Concepción-Talcahuano, el cuello de botella que se genera en J.D. Rivera tiene similares características globales que el de Bulnes en sentido contrario. Sin embargo, la combinación de índices causales (alta-alta-alta) puede deberse a una demanda puntual no regulada convenientemente. Esto generaría una cola de longitud apreciable (alta VPCc), pero de rápida disolución (alta TVC decreciente). Atendiendo a ella, la causalidad es de regular importancia.

En todos los casos analizados, la contrastación fotográfica de las conclusiones extraídas de las curvas de isoconcentración, indican que un aumento de la capacidad de las intersecciones cuello de botella contribuirían a solucionar los problemas detectados. Esta mayor capacidad puede lograrse ya sea mediante una mejor operación del sistema de control de tráfico o procurando una mayor infraestructura vial.

En primera instancia, parece entonces atractivo intentar un estudio de la validez del sistema de control y de las medidas de gestión de tránsito, para aumentar la capacidad actual.

### 3.3.3. Efecto de la conexión Alonso de Ribera.

Como una forma de evaluar el efecto de la conexión Autopista-Av. Gral. Bonilla sobre calle Paicaví, se obtuvieron curvas de isoconcentración a partir del vuelo fotográfico realizado con anterioridad a dicha conexión (figuras 3 y 4). En la tabla 2 se muestran las características de los cuellos de botella que se producirán.

En términos generales, y contrariamente a lo intuitivamente esperado, se observan menos puntos conflictivos que en la situación actual (tres en vez de cuatro). Pero los índices globales de la congestión son más elevados.

Otros dos hechos merecen destacarse. El primero es la transferencia del cuellos de botella que se produce en dirección a Talcahuano, desde el cruce ferroviario (V. Mackenna) a una intersección semaforizada (J.D. Rivera). Esto puede deberse a que, en ausencia de vehículos pesados, el cruce de la línea férrea se haga más expedito y se transladen los problemas a una intersección semaforizada.

El otro hecho relevante, es la generación de un cuello de botella en J.D. Rivera en dirección a Concepción, producto tal vez de las mayores velocidades de circulación de los vehículos que acceden desde la Autopista, sin ser interferidos por el tráfico pesado. Debe destacarse que este nuevo cuello de botella tiene, actualmente, una importancia y

**Tabla 2 : Identificación, jerarquización y causas  
de los cuellos de botella en Palcavi,  
antes de conexión A, de Ruta  
n° 65**

| CUELLLO DE BOTE-LLA | INDICES GLOBALES     |                         | INDICES INTERNOS          |                             | INDICES CAUSALES |                            | CARACTERISTICAS       |                           | GRAVEDAD Y JERARQUIA  |                  | CAUSA PROBABLE DE LA CONGESTION |
|---------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------|
|                     | Max.niv.<br>de conc. | Zona de influen.<br>lla | Duración niv.<br>congest. | Intens. niv. km<br>congest. | niv. kc<br>crec. | Tasa de dism. k<br>dism. t | DE LA CONGESTION COLA | DE LA CONGESTION          | DE LA CONGESTION      | DE LA CONGESTION |                                 |
| EJER-CITO (1)       | 100                  | 140                     | 34,0                      | 82                          | 25,5             | 11,0                       | 6,6                   | Intensa y breve           | de rápido crecimiento | regular          | regulación inadecuada (III)     |
| BULNES (1)          | 100                  | 70                      | 13,8                      | 64                          | 11,7             | 6,5                        | 6,7                   | Intensa y larga y estable | máxima                | máxima           | capacidad insuficiente (II)     |
| V.MAC-KENNA (2)     | 68                   | 30                      | 13,3                      | 60                          | 20,0             | 13,0                       | 13,0                  | intensa y breve           | regular y fugaz       | regular          | demandas puntuales (III)        |

(1) : Dirección Talcahuano-Concepción

(2) : Dirección Concepción-Talcahuano  
n : 55 veh/Km-pista  
c : 68 veh/Km-pista

jerarquía menor.

Otro indicador del efecto de la habilitación de la conexión A. de Ribera es el aumento de las velocidades de circulación. Estas, medidas en los mismos tramos antes y después de dicha conexión mediante las fotos aéreas, presentan un aumento del orden del 30% con respecto a la situación anterior (tabla 3). Se confirma, por lo tanto, la hipótesis que planteaba que el retiro de vehículos pesados de Paicaví, influiría positivamente en sus características de operación.

### 3.3.4. Validación de velocidades fotográficas.

A fin de determinar la validez de las observaciones fotográficas de velocidades, se muestrearon en terreno velocidades puntuales de vehículos mediante un radar. Los resultados, mostrados en la tabla 4, muestran diferencias promedios de un 7% con respecto a las observaciones fotográficas.

En el 63% de los casos las diferencias no son estadísticamente significativas al 5%. Puede afirmarse entonces que las fotografías aportan una adecuada forma de obtener las velocidades en este caso. Luego, el aumento de velocidades a que se hace referencia en 3.3.3., es un resultado suficientemente confiable.

## 4. CONCLUSIONES.

La aplicación del análisis aerofotográfico de congestión realizado en calle Paicaví, confirma la validez de la herramienta para utilizarla en estudios globales de ejes viales. A partir de sus resultados pueden determinarse claros puntos de congestión y analizarlos detalladamente con posterioridad.

En relación a los resultados de la aplicación de esta técnica, se pudo establecer que calle Paicaví de Concepción presenta problemas puntuales de congestión en las intersecciones de Bulnes, Ejército y J.D. Rivera. En todos los casos, la causa probable de la congestión radica en una carencia de capacidad producto, en primera instancia, del sistema de control, que no alcanza a satisfacer la demanda.

Como recomendación general se plantea la necesidad de estudiar la validez del sistema de control de tráfico, optimizando su operación enfocada a minimizar las demoras en la red (mediante TRANSYT, por ejemplo).

Con respecto a la aplicación del método en sí, ha sido

Tabla 3: Comparación de velocidades  
antes y después de conexión  
Autopista - Av. Gral. Bonilla.

| TRAMO       |         | SENTIDO | VELOC. MEDIA ESP.<br>(Km/h) |         | DIFERENCIAS<br>(%) |
|-------------|---------|---------|-----------------------------|---------|--------------------|
| DESDE       | HASTA   |         | ANTES                       | DESPUES |                    |
| Carrera     | Bulnes  | (1)     | 27,0                        | 37,4    | +39                |
| Cruz        | Bulnes  | (2)     | 19,8                        | 31,8    | +61                |
| Brasil      | Ejérc.  | (1)     | 29,7                        | 31,5    | + 6                |
| Rivera      | Ejérc.  | (2)     | 24,4                        | 28,9    | +18                |
| Ejérc.      | Rivera  | (1)     | 23,3                        | 32,4    | +39                |
| Montr.      | Rivera  | (2)     | 21,4                        | 31,4    | +47                |
| Montr.      | Gutier. | (1)     | 24,5                        | 23,2    | - 5                |
| Ventus      | Gutier. | (2)     | 36,0                        | 47,5    | +32                |
| VALOR MEDIO |         |         |                             | +29,6   |                    |

(1): Concepción-Talcahuano.

(2): Talcahuano-Concepción.

Tabla 4: Validación de velocidades  
aerofotográficas.

| TRAMO       |         | SENTIDO | VELOC. MEDIA ESP.<br>(Km/h) |         | DIFERENCIAS<br>(%) |
|-------------|---------|---------|-----------------------------|---------|--------------------|
| DESDE       | HASTA   |         | FOTOS                       | TERRENO |                    |
| Carrera     | Bulnes  | (1)     | 37,4                        | 38,7    | - 3                |
| Cruz        | Bulnes  | (2)     | 31,8                        | 43,1    | -26 *              |
| Brasil      | Ejérc.  | (1)     | 31,5                        | 36,1    | -13 *              |
| Rivera      | Ejérc.  | (2)     | 28,9                        | 26,5    | + 9                |
| Ejérc.      | Rivera  | (1)     | 32,4                        | 31,8    | + 2                |
| Montr.      | Rivera  | (2)     | 31,4                        | 34,0    | - 8                |
| Montr.      | Gutier. | (1)     | 23,2                        | 32,5    | -29 *              |
| Ventus      | Gutier. | (2)     | 47,5                        | 43,7    | + 9                |
| VALOR MEDIO |         |         |                             | - 7,4   |                    |

(1): Concepción-Talcahuano.

(2): Talcahuano-Concepción.

\* : Diferencia estadísticamente significativa al 5%

posible detectar que algunas variables de operación medidas fotográficamente y con métodos de terreno (velocídaes), entregan discrepancias menores. Esto es consecuente con resultados obtenidos en estudios anteriores en el país (Marín, 1982).

Fue posible observar que la conexión de la Autopista Concepción-Talcahuano con Av. Gral. Bonilla (por Alonso de Ribera), influyó positivamente en la operación de calle Paicaví. Es así como las velocidades de operación aumentaron en un 30% como promedio y las áreas espacio tiempo de las curvas de isoconcentración disminuyeron. Este último aspecto hace que la congestión sea menos concentrada y generalizada.

Paralelamente, se observa una disminución de los niveles máximos de concentración vehicular, producto de la aluminación del flujo de vehículos pesados, a la vez que una dilución temporal de la concentración.

No obstante lo anterior y producto de las mayores velocidades de desplazamiento, quedan en evidencia problemas en las intersecciones semaforizadas, las que continúan presentando índices considerables de congestión.

#### AGRADECIMIENTOS.

Los autores expresan su reconocimiento a la Sra. Myriam Alvarado Mac Donald por su valiosa y abnegada labor en el procesamiento de la información.

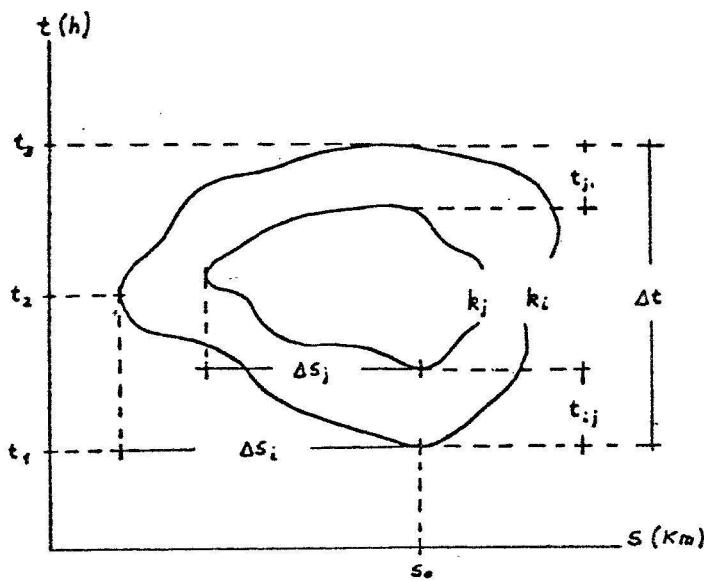
#### REFERENCIAS.

FERNANDEZ, R. (1986). Diagnóstico de la congestión de tránsito mediante fotografías aéreas. IV Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Santiago-Chile, 1 - 4 Diciembre, 1986.

GIBSON, J. (1981). Síntesis del método de periodización. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. Informe no publicado.

MARIN, R. (1982). Aplicación de la fotografía en la ingeniería de tránsito. Memoria para optar al título de Ingeniero de Ejecución de Tránsito, Universidad de Santiago, Chile

WAGNER, F.A. y MAY, A.D. (1963). Use of aerial photography in freeway traffic operations studies. Highway Research Record, No. 19, 24 -34.



$$VPC_i = \frac{\Delta s_i}{t_2 - t_1}$$

$$TVC_{ij}^+ = \frac{k_j - k_i}{t_{ij}}$$

$$TVC_{ji}^+ = \frac{k_j - k_i}{t_{ji}}$$

Fig. 1 : Descripción de las propiedades de las curvas de isoconcentración.

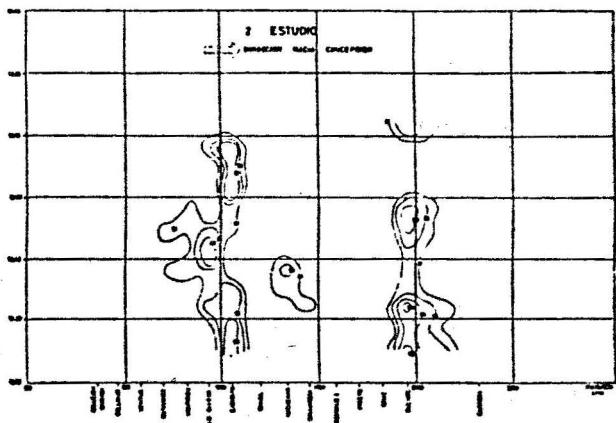


FIG. 2 : CURVAS DE ISOCONCENTRACION DESPUES DE CONEXION DE AV. GRAL BONILLA

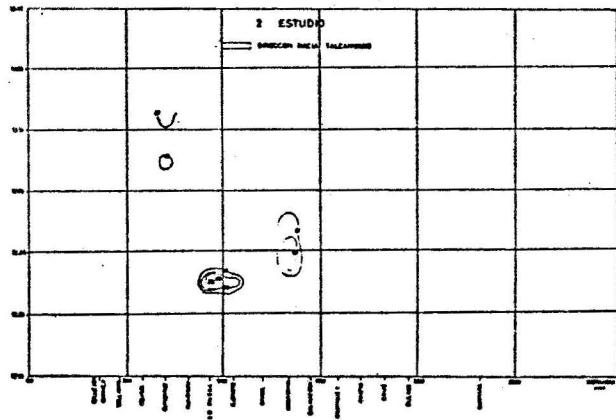


FIG. 3 : CURVAS DE ISOCONCENTRACION DESPUES CONEXION DE AV. GRAL BONILLA

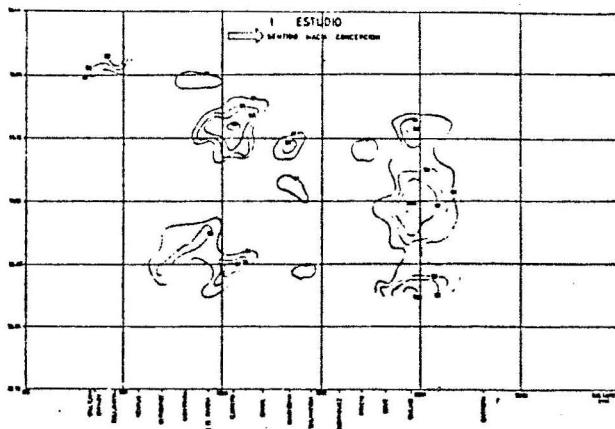


FIG. 4 : CURVAS DE ISOCONCENTRACION ANTES CONEXION DE AV. GRAL BONILLA

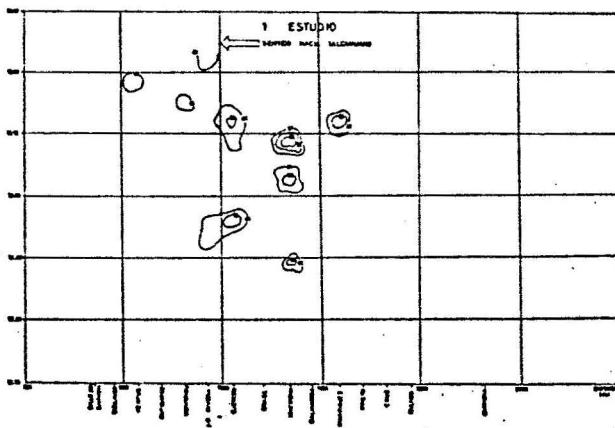


FIG. 5 : CURVAS DE ISOCONCENTRACION ANTES CONEXION DE AV. GRAL BONILLA