

## UN METODO DE CALIBRACION DE TRANSYT

J. E. Coeymans A.

Departamento de Ingeniería de Transporte  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Casilla 306, Santiago 22, Chile

L. W. Willumsen V.

Steer Davis Gleave  
19-21 Conway Street, London W1P 5HL, Inglaterra

### RESUMEN

La calibración del modelo de simulación y optimización de redes semaforizadas TRANSYT ha sido siempre una tarea necesaria y recomendable.

Durante el curso de una investigación realizada en Chile, para evaluar diferentes escenarios de operación de TRANSYT en un entorno de país en desarrollo, fué diseñándose por intento y error un método de calibración de TRANSYT que probó ser muy eficaz y que arrojó muchas luces sobre los problemas a que se enfrenta el especialista cuando intenta una tarea semejante.

El trabajo pretende entregar una síntesis de los problemas y características más relevantes que tiene la calibración de TRANSYT, entrega las hipótesis empleadas y posteriormente verificadas, sobre cuáles son los parámetros que requieren calibración, describe la heurística diseñada para intentar la calibración, y por último muestra la rentabilidad producida en terreno cuando se emplea el método de calibración propuesto.

Finalmente, el trabajo resume algunas de las más importantes conclusiones alcanzadas.

## **1. INTRODUCCION**

### **1.1 Objetivos**

Los objetivos de este trabajo son por una parte hacer una breve reseña de la forma como tradicionalmente se ha calibrado el modelo TRANSYT hasta la fecha, en segundo lugar cuestionar el acercamiento tradicional al problema, y finalmente proponer una heurística para tratarlo, junto con los resultados en terreno que se obtuvieron al aplicarla.

### **1.2 Alcances**

El método de calibración propuesto es solamente manual, es decir no hay un proceso computacional automático que permita llegar a una cuantificación exacta de los parámetros involucrados. Además, la validación ha sido realizada solamente en redes sencillas (eje arterial) con escasos enlaces sobresaturados. No puede pretenderse por lo tanto que las conclusiones de este trabajo sean válidas en un esquema de red más complejo. Sin embargo, dada la configuración de las redes de semáforos de muchas ciudades chilenas, el esquema tiene validez para un alto porcentaje de intersecciones semaforizadas.

### **1.3 Contenido**

El trabajo consta de cinco puntos incluyendo la presente introducción. En el punto 2 se hace una breve reseña de la calibración tradicional empleada hasta la fecha. El punto 3 entrega una descripción de los parámetros que aparecieron como susceptibles de calibrar. El punto 4 describe el método desarrollado y propuesto junto con la evaluación de los resultados producidos en terreno. Finalmente, el punto 5 entrega las principales conclusiones obtenidas.

## **2. CALIBRACION TRADICIONAL**

### **2.1. Preliminares**

El modelo de simulación y optimización de semáforos TRANSYT (Robertson, 1969; Robertson and Vincent, 1975) desarrollado desde hace 22 años, ha probado históricamente ser un modelo robusto para la simulación de redes cuyo gran porcentaje de nodos sea semaforizado. Sin embargo, se ha asumido que algunos parámetros internos deben ser calibrados para las condiciones locales, porque ellos teóricamente representarían el diferente comportamiento de los conductores.

El modelo, ampliamente conocido, comprende dos submodelos: uno de simulación y otro de optimización de los repartos y desfases de los ciclos de los semáforos. No existe hasta la fecha un algoritmo que permita optimizar ni la duración del ciclo (ciclo óptimo) ni tampoco la configuración de etapas dentro del ciclo. Las entradas del modelo son datos tradicionalmente

empleados en otros modelos de tráfico, y las salidas son antecedentes sobre la performance de los enlaces así como los parámetros de operación de los nodos.

En la actualidad TRANSYT va en su versión 9, aunque esta versión es para microcomputadores y muy limitada. La versión 8 es la más usada cuando se quiere optimizar redes con número grande de nodos y enlaces.

## **2.2 Datos de Entrada más Relevantes**

Los datos de entrada más importantes que alimentan a TRANSYT son los siguientes:

### **a) Sobre cada arco**

Los flujos, flujos de saturación, las velocidades de flujo libre, los flujos alimentadores, los porcentajes de buses que se detienen en paraderos, los tiempos promedio de detención de buses en paradero, los factores de ocupación de los vehículos y los parámetros de dispersión de los pelotones de vehículos.

### **b) Sobre nodos**

La configuración de etapas del nodo, el ciclo único o doble a emplear, los repartos y los desfases iniciales de verde.

## **2.3 Hipótesis de Calibración Tradicionales**

En general, las hipótesis subyacentes a la calibración de TRANSYT, han sido las siguientes:

- Los datos de entrada de TRANSYT son fijos.
- Los datos de entrada pueden ser perfectamente estimados con precisión a partir de mediciones realizadas en terreno.
- Solamente los parámetros de dispersión de pelotones son susceptibles de calibrar. La mejor o peor representación de lo que ocurre en la realidad, depende de una afinada medición de los datos de entrada, más una calibración específica de los parámetros de dispersión de pelotones.

## **2.4 Forma de Calibrar**

En la Figura 1 se ve una representación, esquemática y simplificada, de los tres tipos de histogramas o perfiles de flujo cíclico con que trabaja el modelo de simulación dentro de TRANSYT. Así tenemos:

- el IN-Profile, que muestra la llegada del pelotón de vehículos a una línea de parada ubicada frente a un semáforo (curva OABCDE).
- el GO-Profile, que representa la distribución potencial de descarga (rectángulo OFGH).
- el OUT-Profile, curva OAGH, que describe la forma en que son descargados los vehículos a partir de una línea de parada, de acuerdo a la forma en que han llegado (IN-Profile) y sujeto a la restricción (si existe) del GO-Profile.

Las fórmulas de dispersión de autos y de buses en TRANSYT son las siguientes, según la nomenclatura de Gibson y Aguirre (1984).

Para los autos:

$$q_2(i+T) = F q_1(i) + (1-F) q_2(i+T-1) \quad (1)$$

Donde

$q_2(i+T)$	=	Flujo derivado en intervalo $i+T$
$q_1(i)$	=	flujo primitivo en intervalo $i$
$T$	=	$[βt + 0,5]$ (tiempo del vehículo más rápido)
$τ$	=	tiempo promedio de los vehículos
$F$	=	factor suavizador igual a $1/(1 + αT)$

$α$  y  $β$  son parámetros entre 0 y 1.

Robertson en la primera calibración llegó a:

$$α = 0,5 \text{ y } β = 0,8$$

Para los buses se tiene:

$$q_2(i+T) = F q_1(i) + (1-F) q_2(i+T-1) \quad (2)$$

Pero

$$T = [γb + στ + 0,5] \quad (3)$$

y

$$F = 1 / [1 + (1-γ) b + (1-σ) τ] \quad (4)$$

en que:

$b$	=	tiempo detenido en paradero en intervalos
$τ$	=	tiempo de travesía sin incluir $b$

$γ$  y  $σ$  son parámetros de calibración entre 0 y 1.

d) Tiempo detenido en paradero

Es el tiempo total detenido en el enlace por cualquiera sea la razón. El efecto de esta definición es aumentar el parámetro en comparación con el valor que se obtendría con el método tradicional.

#### 4. METODOLOGIA PROPUESTA

##### 4.1 Preliminares

La metodología propuesta supone que se ha hecho una modelación de red afinada, incluyendo a veces hasta cuatro o cinco enlaces con línea de parada compartida. Al mismo tiempo, el método emplea los OUT-Profiles a la salida de la línea de parada para verificar la calibración.

La base de la calibración radica en una búsqueda sistemática de la mejor reproducción por TRANSYT de los OUT-Profiles que han sido recogidos en terreno a partir de repartos y desfases suministrados por un TRANSYT obtenido preliminarmente con los mejores valores de parámetros posibles. El proceso calibra primero los flujos de saturación, luego la proporción de buses, luego el tiempo detenido, y sólo entonces calibra los parámetros del modelo de dispersión para cada enlace. En la Figura 3 se ve gráficamente la heurística propuesta. Un detalle mayor puede encontrarse en Coeymans (1991).

##### 4.2 Resultados Obtenidos

Los resultados de la evaluación realizada para el TRANSYT calibrado según la heurística usada y propuesta en este trabajo en una red de cinco nodos semaforizados son los siguientes, sobre una alternativa base optimizada que es el empleo de TRANSYT tal como viene en el paquete computacional.

Valor primer año en \$

Ahorro de tiempo	76.998.000
Ahorro costos operacionales	18.272.940
Ahorros totales	95.270.940

Los indicadores de rentabilidad social para un horizonte de cinco años, contrastando con la misma alternativa base optimizada son:

Tasa de retorno al 1er año	205.4%
Valor presente neto	\$365.322.000
Tasa interna de retorno	228.4%



La forma precisa de calibrar tiene los siguientes pasos:

- Sobre enlaces sin interrupciones se miden los IN-Profiles que se producen a partir de una descarga en línea de parada.
- Generalmente se asume  $\beta = 0,8$ .
- Se calibra el parámetro  $\alpha$ .

En la práctica no hay reportadas en la literatura calibraciones de los parámetros para buses, y de hecho TRANSYT en el caso de los enlaces de buses, ocupa los valores por defecto producidos por Robertson y Vincent (1975).

Gibson (1985; 1986a; 1986b) al sacar las implicancias prácticas de la correcta especificación y calibración del modelo de dispersión de Robertson (Gibson y Aguirre, 1984) conduce a un método de calibración más claro y fácil, pero obviamente siempre en torno a los parámetros acompañantes a la fórmula de dispersión.

En los últimos años se ha tratado de atacar el problema de la correcta simulación de enlaces con flujos de buses. El aporte más interesante es el de Yagan (1988) quien postula una revisión de la forma de modelar las redes de TRANSYT en torno a los paraderos de locomoción colectiva, y sugiere castigar dramáticamente los valores de flujos de saturación empleados. Este aporte de Yagan, coincidente en el último aspecto con los resultados obtenidos por los investigadores de este trabajo (Coeymans, Novoa y Willumsen, 1987; Coeymans y Willumsen, 1989) tiene sin embargo el problema de exigir el diseño de una red muy complicada.

### **3. NUEVOS PARAMETROS A CALIBRAR Y NUEVAS DEFINICIONES**

#### **3.1 Cuestionamiento sobre Mediciones**

A partir del proceso de calibración en terreno desarrollado por los autores, surgió la duda sobre la correcta estimación de algunos parámetros alimentadores de TRANSYT. De hecho, es bastante difícil medir incluso algunos datos tan sencillos como la demanda en un arco, ya que dependiendo si hay o no un grado alto de saturación, se debe medir ya sea la descarga de vehículos en la línea de parada, o si no se debe medir aguas arriba los flujos alimentadores del enlace.

En el caso que los flujos de un arco tengan una fuerte componente de transporte público, la variabilidad que se observa en zonas de alta fricción (paraderos) es tan grande, que sólo un observador experimentado puede pretender que ha obtenido mediciones confiables.

Lo anterior unido al hecho que las definiciones operacionales de varios datos de TRANSYT se efectuaron en un entorno donde las zonas de fricción alta no existen, llevó a cuestionar dos aspectos: la inmutabilidad de algunos datos alimentadores, y la forma de definirlos operacionalmente a fin de obtener ya de la partida, antes de la calibración, una estimación más razonable.

### 3.2 Parámetros Cuestionados

Los parámetros cuestionados en su definición operacional fueron: el flujo de saturación en la pista lateral derecha donde hay interferencia de buses, las velocidades libres sobre los arcos, el porcentaje de buses que se detienen en paradero, y el tiempo de detención de estos en el paradero.

A pesar de las nuevas y más perfeccionadas definiciones que se plantearon, todos ellos junto con los parámetros de dispersión - y la excepción de las velocidades de flujo libre - se asumieron como parámetros provisorios que es necesario calibrar para una correcta réplica en TRANSYT de la realidad modelada.

Las velocidades de flujo libre no se hallaron como susceptibles de ser calibradas, porque se ideó una metodología a partir de una nueva definición de ellas, que es capaz de producir valores afinados. Las conclusiones en torno a este tema se pueden encontrar en Coeymans (1991).

### 3.3 Nuevas Definiciones Operacionales

Las nuevas definiciones operacionales, que se produjeron como resultado de un proceso de análisis de la mejor o peor reproducción de la realidad que hacía TRANSYT, son las siguientes:

- a) Flujo de saturación para pistas laterales con fuerte incidencia del transporte público.

Es la "tasa de descarga" de los vehículos de la pista en cuestión, hasta cuando haya vehículos en cola. La diferencia con la definición tradicional es que no es una tasa promedio continua alta de descarga, sino solamente una tasa de descarga con o sin continuidades. El resultado de esta nueva definición es producir un flujo de saturación más pequeño. La Figura 2 muestra gráficamente cómo en vez de la magnitud tradicional del flujo de saturación, se obtiene un valor  $S'$ , mucho menor.

- b) Velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre cuando hay interferencia de buses es la velocidad que se obtiene en un arco al descontar la aceleración inicial, el frenado final, el frenado junto con el tiempo detenido por tomar pasajeros y la nueva aceleración, además de descontar los tiempos detenidos por cualquier razón. La velocidad obtenida es menor que en la definición tradicional.

- c) Proporción de buses que se detienen en paradero

Es la proporción de buses que se detienen una o más veces en el enlace durante la fase verde por cualquiera que sea la razón (dejar o tomar pasajeros, interferencia de otros vehículos, o detención para "hacer tiempo" a fin de esperar que den la luz roja). El valor que se obtiene es mayor que en el caso tradicional.

d) **Tiempo detenido en paradero**

Es el tiempo total detenido en el enlace por cualquiera sea la razón. El efecto de esta definición es aumentar el parámetro en comparación con el valor que se obtendría con el método tradicional.

#### **4. METODOLOGIA PROPUESTA**

##### **4.1 Preliminares**

La metodología propuesta supone que se ha hecho una modelación de red afinada, incluyendo a veces hasta cuatro o cinco enlaces con línea de parada compartida. Al mismo tiempo, el método emplea los OUT-Profiles a la salida de la línea de parada para verificar la calibración.

La base de la calibración radica en una búsqueda sistemática de la mejor reproducción por TRANSYT de los OUT-Profiles que han sido recogidos en terreno a partir de repartos y desfases suministrados por un TRANSYT obtenido preliminarmente con los mejores valores de parámetros posibles. El proceso calibra primero los flujos de saturación, luego la proporción de buses, luego el tiempo detenido, y sólo entonces calibra los parámetros del modelo de dispersión para cada enlace. En la Figura 3 se ve gráficamente la heurística propuesta. Un detalle mayor puede encontrarse en Coeymans (1991).

##### **4.2 Resultados Obtenidos**

Los resultados de la evaluación realizada para el TRANSYT calibrado según la heurística usada y propuesta en este trabajo en una red de cinco nodos semaforizados son los siguientes, sobre una alternativa base optimizada que es el empleo de TRANSYT tal como viene en el paquete computacional.

	Valor primer año en \$
Ahorro de tiempo	76.998.000
Ahorro costos operacionales	18.272.940
Ahorros totales	95.270.940

Los indicadores de rentabilidad social para un horizonte de cinco años, contrastando con la misma alternativa base optimizada son:

Tasa de retorno al 1er año	205.4%
Valor presente neto	\$365.322.000
Tasa interna de retorno	228.4%



Los resultados son tan robustos que ahorran todo comentario sobre las bondades para el caso de un eje arterial, del método de calibración propuesto.

## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Las principales conclusiones son las siguientes:

- a) Las redefiniciones propuestas fueron útiles, y la calibración resultó muy rentable.
- b) El método de calibración es sencillo.
- c) El acercamiento en retroalimentación permite mejorar la imprecisión de las mediciones en terreno.
- d) Podría facilitarse la calibración a través de un análisis computacional. En este caso estaríamos ante un nuevo modelo, que no sólo optimiza resultados, sino optimiza la correcta especificación de los datos de entrada.
- e) Debería incluirse la calibración de la dispersión de los flujos alimentadores de las calles laterales.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue posible gracias a aportes hechos por las siguientes entidades: Transport and Road Research Laboratory (TRRL) de Inglaterra, Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) de Chile, y la Dirección de Investigaciones de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DIUC), así como a la colaboración de la firma AUTER de Chile.

## REFERENCIAS

- Coeymans, J.E., Novoa, H.H. y Willumsen, L.G. (1987) Simulación de Buses en Ejes Semaforizados. *Actas III Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Universidad de Concepción, 123-144.
- Coeymans, J.E. y Willumsen, L.G. (1989) Evaluación de sistemas de control de tráfico en países en desarrollo. *Revista Apuntes de Ingeniería*, N°34, 21-39.
- Coeymans, J.E. (1991) *Traffic Signal Systems in a Developing Country*. Ph. D. Dissertation. Department of Civil Engineering, University of Southampton, Inglaterra.
- Gibson, J. (1985) Consecuencias prácticas de un nuevo modelo de dispersión del tráfico. *Actas del II Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 139-157.

Gibson, J. (1986, a) La relación entre las distribuciones cuasi-geométricas y uniforme de tiempos de viaje, en la dispersión del tráfico. **Publicación ST-INV/01/86**, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Gibson, J. (1986, b) Un método de calibración de los parámetros de dispersión de tráfico. **Publicación ST-INV/02/86**, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Gibson, J. y Aguirre, J.F. (1984) Sobre la correcta especificación y calibración del modelo de dispersión de Robertson. **Publicación ST-INV/01/84**, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.

Robertson, D.I. (1969) TRANSYT: a traffic network study tool. **TRRL Laboratory Report LR 253**, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Robertson, D.I. y Vincent, R.A. (1975) Bus priority in a network of fixed time signals. **TRRL Laboratory Report LR 666**, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Yagan, S. (1988) Accommodating transit in TRANSYT. En Urban Traffic Systems and Parking, **Transportation Research Record 1181**, Transportation Research Board, Washington DC.

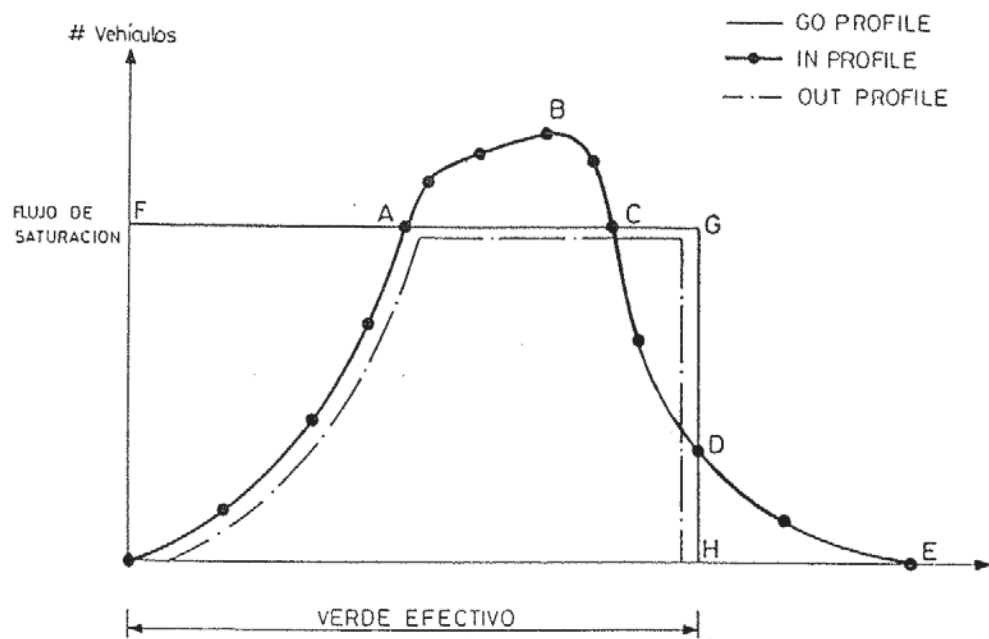


Figura 1: Histogramas de flujo cíclico

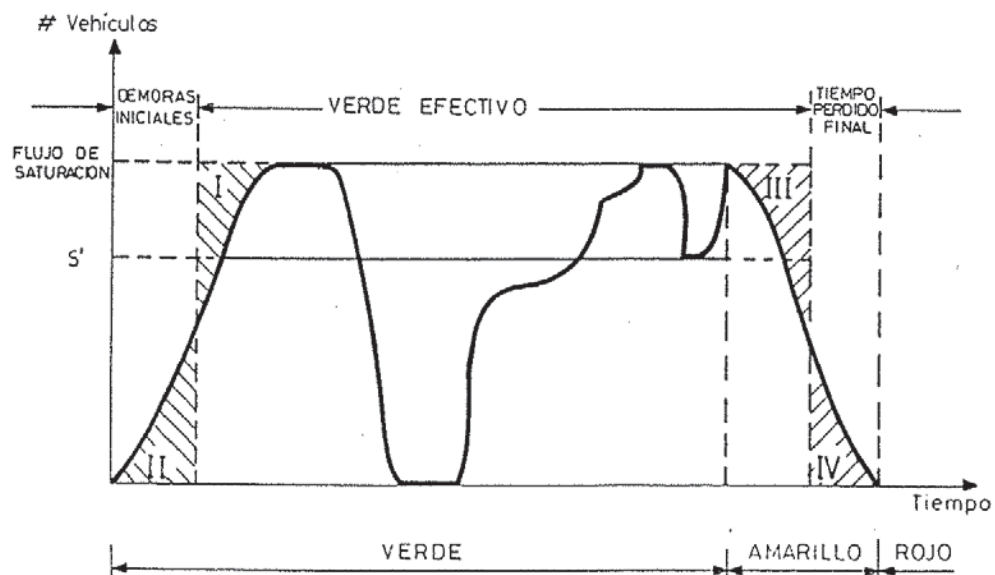


Figura 2: Nuevo flujo de saturación  $S'$

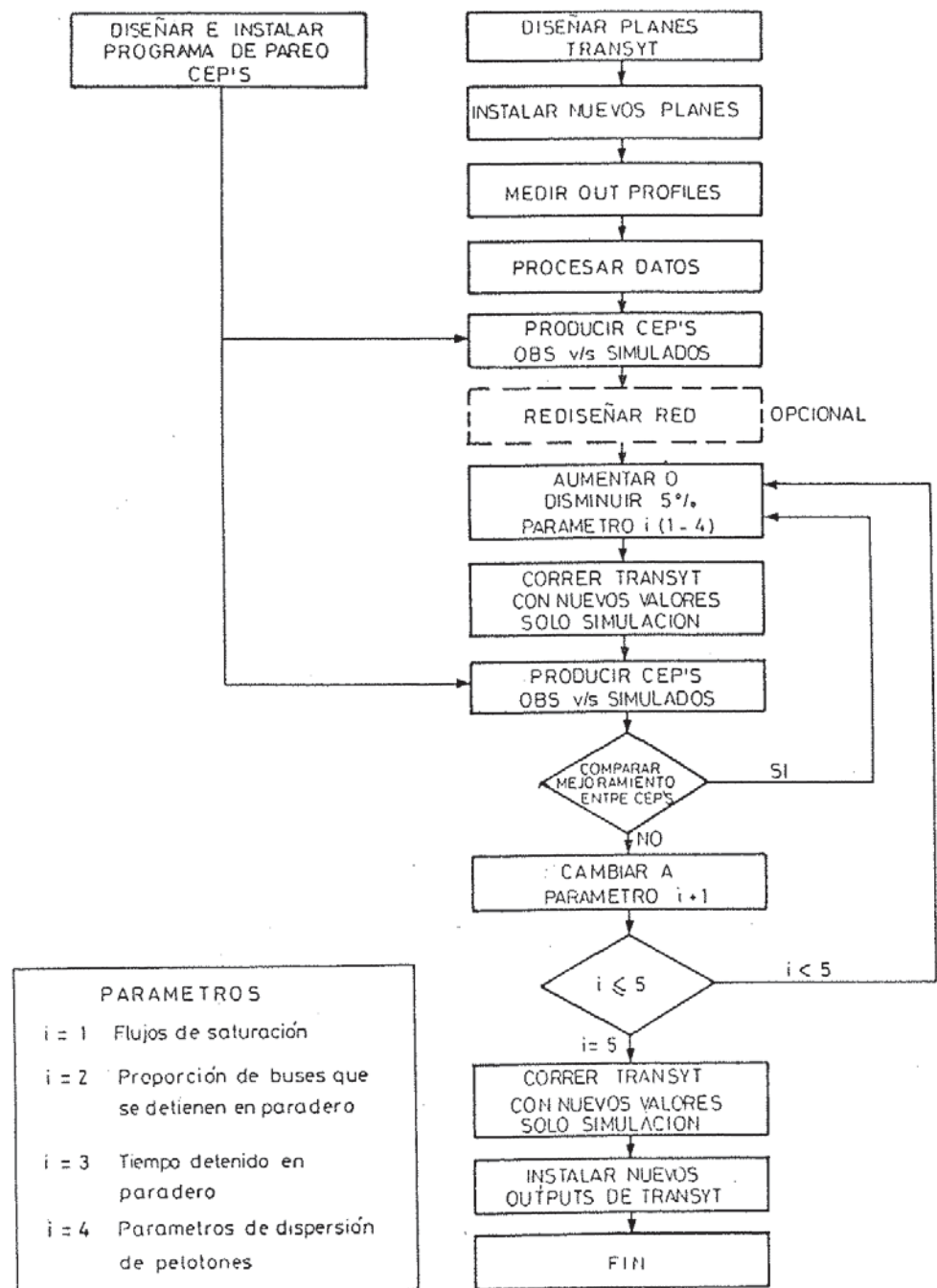


Figura 3: Secuencia del método de calibración propuesto