

**Sistema de gestión y seguimiento de pavimentos. Dirección de Vialidad - MOP  
- Chile.**

**Pág. 34-54**

**Artículo presentado en el XV Congreso Panamericano de Carreteras, Ciudad de México, noviembre 1986**

**Jorge Salgado A.**

Ingeniero Jefe Unidad Coordinadora Sistema de Gestión, Ministerio de Obras Públicas, Dirección Nacional de Vialidad, Unidad Coordinadora Sistema de Gestión, Morandé 59, Santiago, Chile.

**Pablo Gutiérrez D.**

Inspector Fiscal Seguimiento Pavimentos de Hormigón, Ministerio de Obras Públicas, Dirección Nacional de Vialidad, Unidad Coordinadora Sistema de Gestión, Morandé 59, Santiago, Chile.

**Francisco Romero D.**

Inspector Fiscal Seguimiento Pavimentos Asfálticos, Ministerio de Obras Públicas, Dirección Nacional de Vialidad, Unidad Coordinadora Sistema de Gestión, Morandé 59, Santiago, Chile.

**RESUMEN:** este trabajo presenta la concepción de un plan que permitirá implantar en la Dirección de Vialidad de Chile, un SISTEMA DE GESTION sobre los caminos pavimentados que permita obtener el óptimo rendimiento de recursos invertidos en caminos, valorando los costos de construcción, de operación, de conservación y la variación del valor residual de los pavimentos. El programa tiene una duración de cinco años y su costo asciende a US\$ 4 millones, lo que equivale a invertir US\$ 80/km año en la red pavimentada chilena. Se evaluará la evolución de los pavimentos mediante equipos de alto rendimiento, tales como perfilómetro y deflectómetro. Se establecerán modelos de deterioro, de clima y tránsito, con los que se adaptará el Modelo HDM III a nuestro país. El proyecto es interdisciplinario, por lo que la Dirección de Vialidad incorpora a las Facultades de Ingeniería de la Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile en la organización creada para realizarlo.

## **I. ANTECEDENTES**

Chile tiene una Red Vial de unos 80.000 km, de los cuales 23.000 km. conforman la Red Básica. De éstos, 5.800 km. están pavimentados con dobles tratamientos o mezclas asfálticas y unos 3.230 km. lo están con hormigón de cemento hidráulico (1).

Geográficamente, se extienden de la latitud 18°S a la 54°S, entre la costa del Océano Pacífico y la Cordillera de los Andes. Los climas reinantes en esta faja del Continente Americano abarcan todas las combinaciones posibles de temperatura y precipitaciones, desde cálido y seco al húmedo y frío, con variaciones de temperatura noche-día pequeñas en la costa y fuertes en el interior. Como consecuencia de esto, el proyecto, la construcción y la conservación de carreteras, deben responder a condiciones locales, con frecuencia particulares.

La experiencia señala que una mantención caminera adecuada y oportuna resulta económica y es la alternativa razonable cuando se trata, de obtener la máxima eficiencia de las inversiones realizadas en la construcción y en la explotación.

Hacia 1975 la Dirección de Vialidad se ve enfrentada a una situación alarmante: gran parte de los caminos pavimentados de la Red Básica requería de importantes intervenciones. Estudios efectuados establecen la necesidad de asignar a la CONSERVACION Y REHABILITACION la suma de US\$ 95 millones anuales para adecuar la Red Básica pavimentada a las necesidades del tránsito en el periodo 1980-1990, incluyendo la rehabilitación y el refuerzo de los pavimentos (2).

Teniendo en cuenta, las incertidumbres inherentes a 13 metodología en uso (3), predominantemente empírica, que incorpora factores de seguridad que enmascaran las variables no controladas, la Dirección de Vialidad elabora un **PLAN DE CONTROL I SEGUIMIENTO DE PAVIMENTOS** (4), destinado a salvaguardar la inversión que se realiza para rehabilitar y reforzar aproximadamente 4.000 km. correspondientes en su mayoría al camino longitudinal y transversales principales. El plan, tal como su nombre lo indica, contempla dos campos de acción:

- **El Control;** establecido para evaluar tanto el proyecto como la calidad de los materiales empleados, la calidad de la obra ejecutada y recoger su costo.
- **El Seguimiento.:** programado para conocer tanto el rendimiento del pavimento, es decir, la variación de la serviciabilidad en el tiempo, entendiéndose como serviciabilidad o nivel de servicio, la calidad ofrecida al usuario en cuanto a comodidad, seguridad y rapidez; como el comportamiento estructural, en distintos entornos y estados de conservación, ante determinadas solicitaciones.

Ambas actividades se realizan en forma sistemática en toda la extensión de la red pavimentada y en forma intensiva en zonas localizadas, representativas de las diversas estructuras y condiciones de entorno existentes en el país. En la Figura N°1 se muestra un diagrama de flujo del Sistema de Gestión y Seguimiento de Pavimentos.

Este Plan se desarrolla con el objeto de:

- Definir operaciones de conservación eficaces. El pavimento puede requerir actuaciones que lo protejan de futuros daños que demanden acciones más costosas, aunque su serviciabilidad presente sea satisfactoria.
- Establecer umbrales indicativos a partir de los cuales se precisa de determinada intervención sobre el pavimento.
- Establecer políticas de conservación a nivel de la carretera y de la red.
- Presupuestar la conservación necesaria y suficiente,

y en forma adicional:

- Adecuar las prescripciones técnicas a los medios de ejecución disponibles.
- Verificar los parámetros de diseño que caracterizan el entorno propio del territorio.
- Actualizar las Hipótesis de diseño (tránsito, clima y estructuración).

La concepción de este plan permitirá, en primera instancia, implantar en la Dirección de Vialidad un **SISTEMA DE GESTION PARA LA CONSERVACION DE PAVIMENTOS**, cuya meta es minimizar el costo total del transporte por carretera actuando principalmente sobre los costos del usuario y el valor residual del pavimento, mediante técnicas de proyecto, de construcción y de conservación adecuadas. Finalmente, se integrará a un **SISTEMA DE GESTION VIAL**.

Para lograr estos objetivos es necesario:

- Evaluar los efectos de la calidad de construcción sobre el comportamiento real del pavimento, comparándolo con el método de diseño empleado en el proyecto.
- Evaluar las causas del deterioro local, identificando aquellos provenientes de vicios y omisiones del proyecto y/o de la ejecución, con el fin de tomar las medidas precautorias.
- Evaluar los efectos del entorno, temperatura, humedad y calidad de la fundación (subrasante) sobre la evolución del pavimento, y el efecto del tránsito acumulado.
- Determinar la conservación requerida para mantener un rendimiento funcional adecuado.
- Evaluar los costos de conservación, construcción, operación y valor residual de los pavimentos.

## II. ESTRUCTURACION DEL SISTEMA

La relación entre la sollicitación y la evolución del pavimento se ha esquematizado como se indica en la Figura N°2. En principio, como a todo modelo, a una SOLICITACION (Entrada) corresponde una RESPUESTA (Salida) determinada por la función de transferencia característica que en este caso son la **Estructura del Pavimento y su Fundación**.

Las SOLICITACIONES del sistema son el **Tránsito**, cuantificado por los ejes equivalentes proyectados en el tiempo mediante tasas de crecimiento y el **Clima**, representado por un factor que contempla los efectos de la temperatura e intensidad y duración de las precipitaciones, con el objeto de diferenciar la severidad con que las cargas del tránsito afectan a la estructura del pavimento y su fundación.

La FUNCION DE TRANSFERENCIA, correspondiente al pavimento y a su fundación, está, determinada por el proyecto o concepción de la estructura y por la calidad de la fundación, la de los materiales de construcción y la de la obra terminada.

La RESPUESTA, a través de las características funcionales y estructurales, son la **Irregularidad Superficial**, medida por la magnitud de las deformaciones, longitudinal y transversal, de la rasante del pavimento; la **Resistencia al Deslizamiento**, medida por el coeficiente de fricción entre la superficie del pavimento y los neumáticos de los vehículos; la **Luminosidad** (5), que afecta la visibilidad cuando la superficie mojada es muy lisa o no provee facilidad de escurrimiento superficial; el **Deterioro Superficial**, índice que refleja la intensidad del daño del pavimento ponderando fisuras, grietas, pérdidas de material y baches; y el **Comportamiento Estructural**, es decir la variación de la condición estructural en el tiempo, medida en base a la respuesta, del pavimento sometido a una carga. Las respuestas evolucionan con la acumulación de sollicitaciones en el tiempo, traducidas a números de ejes equivalentes N. Cada una de ellas

refleja el rendimiento o deterioro de una condición del pavimento. La necesidad de intervenir estará dada por los **índices umbrales** (U), adoptados para el tipo de carretera considerada.

El deterioro del pavimento afecta al tránsito, modificando los factores de equivalencia de los ejes. En consecuencia, se produce una realimentación del sistema desde la SALIDA (respuesta) a la ENTRADA (solicitaciones).

Las OPCIONES DE CONSERVACION que se indican en la Figura N°2 están relacionadas con las respuestas, por cuanto se efectúan para subsanar deterioros locales y/o generales del pavimento. De entre las opciones se distinguen las de **conservación menor**, aplicables a defectos específicos y puntuales, de las de **conservación mayor**, apropiadas para corregir uno o más tipos de deterioros simultáneamente en distintas áreas del pavimento. Es así como un Tratamiento Superficial sirve para mejorar la calificación visual y la resistencia al deslizamiento del pavimento, en cambio un Refuerzo mejorará al conjunto de las respuestas. Ambas opciones realimentan el Sistema, la primera a la Salida y la segunda al Modelo por modificación de la estructura del pavimento.

El proceso de SELECCION DE OPCIONES consiste en evaluar todas las opciones de la lista mediante el **Análisis de la Respuesta**, seleccionando sólo aquellas que mejoran el comportamiento del pavimento, ordenándolas de menor a mayor eficacia. Se obtiene una serie de soluciones, cada una de las cuales es una acción técnicamente correcta.

La estructuración del sistema es conceptualmente común para todo tipo de pavimentos (rígidos, semirígidos y flexibles). La función de transferencia y las variables de respuesta difieren como consecuencia de las particularidades de cada pavimento. De igual forma, las intervenciones de conservación requieren técnicas de ejecución específicas para un determinado tipo de pavimento.

En el mismo diagrama se han incluido las partidas económicas asociadas a los componentes del Sistema. Es importante destacar que la evolución del Deterioro Superficial, de la Irregularidad Superficial y de la Resistencia al Deslizamiento, inducen variaciones en el **COSTO DE OPERACION** y que el Comportamiento Estructural, reflejado por el Deterioro Superficial y la Respuesta Estructural, determina la Variación del **VALOR RESIDUAL** del pavimento. La suma de las partidas económicas, en el sentido horizontal, arroja el **COSTO TOTAL** del pavimento. La determinación del Costo Total para cada una de las acciones posibles permitirá determinar una **Estrategia de Conservación** óptima en términos técnico-económicos, aplicable al pavimento objeto de análisis. Mediante este procedimiento cada pavimento quedará caracterizado por el ESTADO en que se encuentra y por los COSTOS DE CONSERVACION, el mínimo necesario y el óptimo.

Clasificando los pavimentos en función de su estado, se obtendrá un conjunto de carreteras en que se hace necesaria la CONSERVACION. El orden de prioridad con que debe abordarse ésta, a nivel de la Red, se obtendrá del análisis del beneficio (reducción del costo de operación y aumento del valor residual) resultante de aplicar distintas opciones y adoptar en consecuencia una ESTRATEGIA DE CONSERVACION.

El funcionamiento del Sistema se basa en la información resultante de evaluar los datos que aportan los subsistemas que lo componen (tránsito, clima, estructura del pavimento, fundación, acción de conservación y costos).

### III. ORGANIZACION

Para la realización del Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos e implantar el Sistema de Gestión en la Dirección de Vialidad, se ha creado una organización en cuya estructura se consideran los campos de DIRECCION - ASESORIA -COORDINACION y EJECUCION, de la cual forman parte la Unidad Coordinadora del Sistema de Gestión (UCSG), el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV), el Subdepartamento de Planificación de la Conservación (SDPC), y las Asesorías.

Considerando que el proyecto es interdisciplinario en atención a las áreas de especialización que intervienen en su desarrollo, la Dirección de Vialidad incorpora a las Universidades a la organización creada para realizarlo. La Universidad de Chile para pavimentos de hormigón y la Pontificia Universidad Católica de Chile para los de asfalto.

La colaboración estrecha de la Universidades y de los especialistas nacionales con la Dirección de Vialidad, tiene un objetivo secundario: incentivar la formación de nuevos profesionales y actualizar los planes de docencia en la Ingeniería Vial.

En la Figura N°3 se muestra la organización señalando los distintos campos de actuación, los organismos involucrados y las relaciones funcionales.

El Comité Directivo tiene la tuición general del proyecto y cumple las siguientes funciones:

- definición de objetivos,
- orientación de la ejecución,
- evaluación de los avances e
- introducción de enmiendas.

El Comité Ejecutivo fiscaliza la ejecución del programa y cumple las siguientes funciones:

- establecer las metodologías,
- planificar los trabajos,
- coordinar los medios necesarios,
- actualizar los programas de trabajo y
- establecer las normativas de trabajo.

La Asesoría Externa actúa en todos los niveles orientando a los organismos encargados, especificando las modificaciones y/o correcciones necesarias en el desarrollo de la investigación para lograr los objetivos propuestos. Aportará la información necesaria para la capacitación y especialización del personal que trabaje en el proyecto

La ejecución ha sido asignada al Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV), al Subdepartamento de Planificación de la Conservación (SDPC), a la Universidad de Chile (IDIEM) y a la Pontificia Universidad Católica de Chile.

La UCSG, además de coordinar las acciones de todos los organismos involucrados en el Sistema de Gestión y Seguimiento de Pavimentos, debe desarrollar las actividades de inventario, modelación de tránsito, costos (operación y construcción).

El LNV deberá realizar las actividades de auscultación sistemática, ensayos de materiales, control de proyecto y de construcción.

El SDPC tendrá a su cargo la normalización de técnicas de conservación y la determinación de costos de conservación.

Las Universidades tienen a su cargo el desarrollo de la investigación, se encargan de realizar la auscultación localizada, desarrollo de modelos de deterioro, clima y el apoyo computacional.

#### **IV. MEDIOS**

Se utilizan elementos existentes en el país, pertenecientes a la Dirección de Vialidad y a las Universidades, y equipos adquiridos especialmente para este proyecto por las tres entidades.

Para llevar a cabo la recolección de datos en los distintos subsistemas se cuenta con los elementos que se describen a continuación.

##### **a) Tránsito.**

Se cuenta con la infraestructura y organización de la Dirección de Vialidad que dispone de:

- Plazas de pesaje dinámicas automáticas.
- Plazas de pesaje estáticas.
- Plazas de peaje.
- Censos de tránsito y encuestas origen /destino, que se realizan anualmente, alternados, en todo el país.
- Equipos automáticos portátiles.

La ubicación de las plazas de peaje y pesaje de funcionamiento permanente se muestran en la Figura N°4.

##### **b) Clima.**

Se utilizará la información de la red de estaciones meteorológicas pertenecientes a diversos organismos del país. Además, para cuantificar su efecto sobre el pavimento, las Universidades utilizan sensores de temperatura instalados a diferentes profundidades y medidores nucleares de humedad y densidad.

##### **c) Pavimento.**

Para determinar la calidad de los materiales se cuenta con los laboratorios de Vialidad, del Idiem y de la Universidad Católica (DICTUC).

Para estudiar el comportamiento de los materiales y del pavimento se adquieren:

- Una prensa computerizada MTS, con sistemas servohidráulicos para ensayos dinámicos.

- Sistemas de medida compuestos por captadores de deformación, termopares, sensores de humedad, densímetros nucleares, acondicionadores de señal y registradores electromagnéticos.
- Pirómetros infrarrojos y medidores de radiación solar.

El seguimiento de la evolución de los pavimentos contempla la determinación periódica de:

- el deterioro superficial, mediante inspecciones visuales;
- la resistencia al deslizamiento;
- la irregularidad superficial y
- la respuesta estructural.

Estos parámetros se obtienen por medio de equipos especialmente diseñados para tal efecto; tales como el MU-METER, MAY S-METER, PERFILOMETRO 690 DNC y DEFLECTOMETRO.

Para el manejo de la información y la operación del sistema se emplean en la actualidad los computadores Texas Instruments de Vialidad, IBM 370 de la Universidad de Chile y VAX-11 Digital de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

## V. COSTOS DEL SISTEMA

El costo involucrado directamente en la implantación del Sistema de Gestión alcanza a US\$ 4 millones, financiado con préstamos del Banco Mundial y aportes nacionales.

En él se considera la adquisición del equipamiento, incluso repuestos y capacitación del personal que opera los equipos e interpreta las medidas, y los recursos totales para la investigación que desarrollan las Universidades y la Asesoría Externa que se cancelarán por los cinco años a que se extiende el programa.

Es interesante mencionar que este costo equivale a una inversión de 50 US\$/km año en la red pavimentada.

El detalle se desglosa en la siguiente tabla:

		Miles de US\$
Equipamiento Laboratorios Regionales		597.48
Prensa Ensayes Dinámicos MTS		903.19
Equipos Auscultación:	-Deflectómetro	498.19
	-Perfilómetro	494.97
	-Mu-Meter	53.59
	- Mays-Meter	33.95
Total Equipamiento		2.581.91

Asesoría Externa	141,36
IDIEM, Pavimentos Hormigón	607,32
U. Católica, Pavimentos Asfálticos	647,16
TOTAL INVESTIGACION	1.395,64
TOTAL SISTEMA DE GESTION	3.977,75

## VI. ACTIVIDADES DEL SISTEMA

En el desarrollo del Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos deben realizarse diversas actividades, agrupadas en 8 campos de trabajo:

a) Inventario:

Identificación de carreteras.

Recolección de datos: Geometría

Estado superficial  
Proyecto  
Construcción  
Tránsito

b) Opciones de conservación:

Tipificación de técnicas de conservación.

Valoración del efecto.

c) Costos:

De construcción (Precios unitarios y procedimientos de actualización).

De conservación (Precios unitarios y procedimientos de actualización).

De operación (Sistema HDM III) (6).

d) Investigación:

Zonas testigos:

-Inspección y elección  
-Monografías  
-Diseño de instrumentación y validación de procedimientos.

Ensayos: - Hormigón y asfalto: Ley de fatiga, módulo de elasticidad  
- Propiedades de aditivos y sellos  
- De complementación y caracterización de materiales.



Revista de Ingeniería de Construcción, N°2, Marzo 1987

Auscultación localizada:       - Sistema de adquisición de datos  
  - Medidas

Umbrales de índices de comportamiento y especificaciones.

e) Auscultación.

Selección y adquisición de equipos.

Entrenamiento de personal.

Mediciones.                       Resistencia al deslizamiento (Mu. Meter).  
  Irregularidad superficial (Mays Meter.. Perfilógrafo Australiano).  
  Respuesta Estructural (Deflectómetro y Viga Benkelman).

f) Modelos:

Deterioro superficial. Deterioro

estructural. Tránsito.

Económico (HDM III) (6).

Clima.

g) Soporte computacional:

Banco de datos (archivos y explotación).

Procesos de caracterización (Funciones estadísticas).

Procesos de evaluación (Funciones analíticas).

Integración de auscultación continua al banco de datos.

Procesos de gestión (Priorización y Optimización).

h) Sistema de Gestión:

Integración al modelo HDM III (6).

Prueba.

Implantación.

## VII. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Este programa se inició a fines de 1983 y debe culminar en 1988. Hasta, la fecha se han realizado los trabajos que se señalan a continuación:

### 7.1 Zonas testigo.

Para la elección de los sectores en que se desarrollaría la investigación de las Universidades, se realizó en septiembre de 1983 un Inventario de caminos pavimentados, en todo el país, recogiendo en terreno los datos de identificación del camino, su longitud, tipo y espesor del pavimento, calidad del drenaje, y la información correspondiente a la zona climática y relieve del terreno.

Con esta información se seleccionaron sectores con pavimentos asfálticos y de hormigón, de modo que se cubriera la variabilidad de los parámetros mencionados.

Se tienen así, zonas testigo que involucran los parámetros siguientes:

Tránsito:	liviano, medio y pesado.
Estructura del pavimento:	nuevo, repavimentación sobre hormigón y sobre asfalto.
Tipo de base:	granular, asfáltica, tratada con cemento y abierta ligada.
Edad del pavimento:	de 0 a 10 años
Relieve del terreno:	llano, ondulado y montañoso
Clima:	según pluviometría, temperatura ambiente media y diferencia térmica.

En pavimentos de hormigón se establecieron 21 zonas testigo y 18 con pavimentos asfálticos. La ubicación y características principales de cada zona testigo se muestran en las Figuras N°5 y 6.

En forma adicional a las características señaladas, las zonas testigo han aportado otras variables como, diferentes longitudes y espesores de losas de hormigón, diferentes espesores y tipos de mezclas asfálticas, distintos suelos de fundación, varios tipos de bermas y drenaje lateral.

## 7.2 Banco de datos.

Es una parte del soporte computacional diseñada para el ingreso, archivo y explotación de la información; su desarrollo se encargó a las Universidades. En el Banco de Datos, se ingresa la información de:

- Inventario físico
- Deterioro Superficial y Estructural
- Clima
- Costos
- Tránsito

La evaluación de la información comprende dos procesos, ambos estadísticos. Mediante el primero se establece el valor característico de cada variable y con el segundo se examina la calidad de la función que las relaciona.

El desarrollo del soporte computacional se realiza teniendo presente que la operatividad del sistema depende enteramente de la flexibilidad con que sea manejada la información.

Sus componentes esenciales son las rutinas de archivo, modificación y recuperación mediante las cuales se crea, actualiza y explota, respectivamente el BANCO DE DATOS. A ellas se encadenan programas de clasificación, de evaluación estadística y los correspondientes a modelos de simulación de los subsistemas. Completan el soporte computacional los programas para el cálculo de costos y los de presentación de resultados.

En inventario físico se incluyen los datos de identificación, geometría, características estructurales, calidad de la construcción y saneamiento.

El deterioro superficial se determina por medio de inspecciones visuales realizadas periódicamente en terreno. Con la auscultación continua se tiene el deterioro estructural.

La información de clima se obtiene de mediciones efectuadas por las Universidades en las zonas testigo, y para el resto del país se cuenta con los datos recolectados por otras Direcciones del Ministerio de Obras Públicas.

En el análisis de costos se consideran los costos de conservación, construcción y de operación. Se cuenta, con estudios realizados en la Dirección de Vialidad y con el Modelo HDM del Banco Mundial (6). Se incluye también un catastro de lugares de mayor frecuencia de accidentes y una estadística de los daños materiales.

La información de tránsito la proporcionan plazas automáticas de pesaje y de peaje, encuestas y censos periódicos realizados en todo el país.

En la Figura N°7 se muestra un esquema simplificado del Banco de Datos.

### **7.3 Equipos adquiridos y sus necesidades.**

#### 7.3.1 Equipo de ensayos dinámicos de materiales.

El análisis racional del funcionamiento de un pavimento impone la cuantificación de los parámetros que lo caracterizan, tales como: resistencias mecánicas, módulos de deformación y leyes de fatiga. Estos están determinados por variables propias de nuestro entorno, materiales y procedimientos constructivos. Además, dependen de la velocidad, forma, repetición, tiempo y magnitud de las sollicitaciones.

Al respecto, es necesario tener en cuenta, que los módulos de elasticidad de los distintos materiales que componen la estructura del pavimento deben ser medidos en función de los parámetros que los determinan, en sus rangos de servicio.

Con este objeto se adquirió un equipo de ensayos dinámicos de materiales capaz de ejecutar las siguientes aplicaciones:

- Suelos y materiales estabilizados:
  - Ensayes triaxiales dinámicos con control de carga, deformación o desplazamiento.
  - Ensaye de licuefacción de suelos.
  - Determinación del módulo resiliente de suelos y bases estabilizadas.
  - Fatigamiento de bases tratadas con cemento.
  
- Mezclas asfálticas:
  - Ensaye con envejecimiento de ligante en cámara climática.
  - Determinación del módulo de elasticidad dinámico.

- Determinación del fatigamiento de las mezclas asfálticas.
- Hormigón y rocas:
  - Determinación de módulos de elasticidad estático y dinámico.
  - Determinación del coeficiente de Poisson.
  - Determinación de fatiga de hormigones.
- Materiales varios:
  - Comportamiento de sellos de juntas en cámara climática.
  - Ensayes sobre paños geotextiles, y características de productos para retardar transmisión de grietas en recapados asfálticos.

### 7.3.2 Equipos de Auscultación.

El beneficio que se obtiene de una conservación preventiva ha promovido el desarrollo de equipos capaces de medir en forma continua y con alto rendimiento las desviaciones que experimenta, el perfil longitudinal respecto del original, el aumento de la deflexión y variación de la curva de deformación y la disminución de la resistencia al deslizamiento.

El Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos incluye los pavimentos de hormigón, los de mezclas asfálticas y repavimentación de ambos tipos, el equipo adecuado para efectuar las medidas es aquel capaz de proporcionar resultados correctos en toda la gama de rigideces.

Considerando la localización de los síntomas de deterioro de la carretera se distinguen equipos de auscultación estructural y superficial.

#### a) Aparatos para la auscultación estructural.

Han sido concebidos para determinar la magnitud de la deflexión y la forma de la curva de deformación al aplicar una carga al pavimento. Se han desarrollado equipos que se distinguen por la modalidad de aplicación de la carga:

- los transitivos (Lacroix. WDM, Benkelman)
- los vibratorios (Dynalect, Road rater)
- los de impacto (FWD = Falling Weight Deflectometer)

Cada uno de ellos presenta ventajas e inconvenientes. Se analizaron cada uno de ellos decidiéndose por un Deflectómetro Transitivo múltiple capaz de determinar, mediante un mismo dispositivo, la magnitud de la deflexión y la forma de la curva de deformación en pavimentos flexibles, y la transferencia de carga entre las juntas transversales de losas en pavimentos de hormigón.

El vehículo en el cual va instalado tiene una distancia entre ejes delantero y trasero de 6,75 m, lo que le proporciona una separación entre el plano de referencia y el eje cargado más adecuada aún para determinaciones en estructuras de mayor rigidez.

b) Aparatos para la auscultación superficial.

El confort y la seguridad dependen físicamente de la regularidad superficial y de la calidad de la textura del pavimento.

c) Aparatos para Medir la Regularidad Superficial.

Existen diversos aparatos para medir la rugosidad y se pueden distinguir según su tipo:

- los ópticos (K.J. Law, HSP)
- los inerciales (APL.)
- los de respuesta. (Mays Meter, Bump Integrator, BPR, etc.)

El Laboratorio Nacional dispone de equipos de tipo respuesta, que registran los movimientos relativos acumulados eje-chasis de un trailer o automóvil sobre la calzada cuya rugosidad se desea evaluar, resultando un valor objetivo que se expresa en una sumatoria de desplazamientos para una cierta distancia recorrida. Estos son:

- El Mays Ride Meter montado en un trailer, las mediciones son registradas en el vehículo tractor en una unidad electrónica que, conectada a un odómetro digital, exhibe por pantalla las cuentas acumuladas en una distancia preestablecida.

- El NAASRA Roughness Meter, que mediante un sencillo mecanismo traduce los movimientos verticales en giro de una rueda dentada y activa un contador manual de vueltas, que pueden registrarse en forma independiente de la distancia recorrida.

Estos aparatos tienen bajo nivel de precisión y necesitan ser calibrados para asegurar la estabilidad de sus registros y a la vez poder correlacionar sus medidas. Por lo que se debió establecer numerosas pistas de calibración distribuidas regularmente a lo largo del país, niveladas topográficamente. Por esto la Dirección de Vialidad complementó su equipamiento con un Perfilómetro óptico K.J. Law que proporciona las siguientes ventajas:

- Medición independiente de la velocidad., que le permite integrarse al tránsito normal.
- Registro del perfil real del camino y programas de simulación de la respuesta de diferentes aparatos en base al perfil registrado.
- Resolución suficiente que permite detectar la evolución temprana del perfil, tanto longitudinal como transversal (ahuellamientos y escalonamiento).

d) Aparatos para la Medida de la Resistencia al Deslizamiento.

La calidad de la textura del pavimento se asocia directamente a la fuerza de roce inducida por el contacto neumático-pavimento. La fuerza es afectada por la película de agua interpuesta, en el contacto, lo que hace la textura determinante a la hora de juzgar la seguridad.

Los aparatos construidos y que permiten obtener la información relativa a estas variables son esencialmente de dos tipos.

- los que miden la fuerza generada por el bloqueo de una rueda que recorre el pavimento en el sentido del tránsito.
- los que miden la fuerza que resulta, de arrastrar una rueda levemente inclinada respecto a la dirección de su desplazamiento.

El Laboratorio de Vialidad posee un equipo del segundo tipo; es un Mu-meter Mark 3, modelo B-700.

### 7.3.3 Necesidades.

Para cada equipo adquirido se contempló:

- Un programa de capacitación, en relación a los fundamentos teóricos de las medidas, interpretación y evaluación, efectuado en la sede central de los proveedores.
- La puesta en marcha de los equipos en Chile, con capacitación para los operadores en conducción y mantención de los equipos y una campaña completa, de auscultación de 100 km con procesamiento de datos.

Los equipos de auscultación se suministran con los elementos necesarios para comprobar fehacientemente, "in situ", que se está midiendo y registrando correctamente.

Los equipos modernos cuentan cada vez con mayor proporción de componentes electrónicos lo que hace imprescindible contar con técnicos en esa área, documentación suficiente, elementos de recambio e instrumental especializado, para calibración y reparación. Se debe mantener una provisión suficiente de repuestos para reemplazos por desgaste y un mínimo de recambios para superar las fallas a objeto de que el equipo permanezca operable.

Para las mediciones del deflectómetro fue necesario considerar, adicionalmente, un vehículo y personal de apoyo para mantener la seguridad y fluidez del tránsito en calzadas bidireccionales.

## **7.4 Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile en Pavimentos Asfálticos**

### 7.4.1 Caracterización de las zonas testigo

Se caracterizó la estructura del pavimento, en cada zona testigo, mediante la excavación de 3 calicatas de las cuales se obtuvo muestras de cada capa para su análisis en laboratorio y para poder determinar sus parámetros resistentes tales como:

- Espesores, Densidades, Parámetros Marshall, Contenido y Calidad de Asfalto.
- Granulometrías, Límites de Atterberg, Relación humedad-densidad, CBR.

### 7.4.2 Auscultación localizada.

En cada zona testigo se realizan mediciones sistemáticas, a través de instrumentación diseñada por la Universidad. Para realizar las mediciones se dispone de varios equipos que permiten la adquisición, el procesamiento y presentación de resultados. Las mediciones que se ejecutan, se resumen a continuación, indicando brevemente el procedimiento y equipos utilizados.

#### a) Deflexión del Pavimento.

Se registra la deflexión del pavimento en doce puntos; se induce la deformación mediante el paso de camiones cargados con 80 y 110 kN en el eje trasero. Uno de los puntos coincide con una base de referencia, cuyo esquema se muestra en la Figura N°8.

La viga Benkelman y la base de referencia profunda están dotadas de transductores de desplazamiento (LVDT), que permiten el registro de la curva de deflexión en un multiprogramador con convertidor análogo digital capaz de tomar 25.000 lecturas por segundo y de 16 canales de entrada analógica, y un Computador Integral PC HP 9807-A que controla la adquisición, el registro y el procesamiento de la información. En la misma unidad se ingresa la señal que ubica la posición de la carga proveniente de un distanciómetro de rayos infrarrojos. El vehículo se hace pasar por el punto de medición a velocidades constantes, de 4 y 15 km/h.

#### b) Temperatura de Capas Asfálticas

Mediante termocuplas instaladas en una misma vertical, y a 5 cm de distancia entre si, partiendo desde la proximidad de la rasante, se mide la temperatura en forma continua durante 24 horas, y se registra en un graficador automático. De las curvas continuas se extraen los valores de temperaturas cada 30 minutos, para cada profundidad

c) Densidad y Humedad de Capas Granulares.

Se mide desde la rasante, hasta 1 m de profundidad, cada 5 cm. Para efectuar las mediciones, se instalaron en cada zona testigo 2 tubos de aluminio, suministrados con los equipos Troxler modelos 3300 y 2376. Los equipos, previo a las determinaciones, se calibraron con el material existente en cada zona testigo.

d) Perfil Transversal del Camino.

Se registra mediante perfilógrafos transversales, equipo que grafica en papel milimetrado el perfil, tomando la cota vertical a escala natural y la distancia horizontal en escala 1:20. En la zona testigo se toman 6 perfiles, distanciados 40 m entre si, coincidiendo con los puntos donde se miden deflexiones.

e) Resistencia al Deslizamiento para Baja Velocidad.

Este parámetro se mide con el Péndulo diseñado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL), en 12 puntos dentro de la zona testigo, cercanos a donde se mide la deflexión.

f) Textura Superficial del Pavimento.

Se determina a través del ensaye denominado Mancha de Arena, en los mismos puntos en que se mide con el Péndulo TRRL.

g) Monografía.

Se realiza una inspección visual del estado del pavimento, utilizando un procedimiento objetivo, midiendo los defectos y registrándolos en fichas codificadas para su tratamiento computacional.

De las mediciones mencionadas, las tres primeras se efectúan en cada estación climática, es decir, 4 veces al año, y las restantes sólo 1 vez al año, de acuerdo a la variabilidad que tienen los distintos parámetros en el tiempo.



#### 7.4.3 Mediciones con Equipos de Auscultación Continua.

En cada zona testigo se realizan mediciones con los equipos de auscultación de alto rendimiento, que posee la Dirección de Vialidad, a fin de establecer relaciones entre estas mediciones y los resultados en la auscultación localizada, para aplicar estas correlaciones a las mediciones efectuadas al resto de la red y poder utilizar los modelos de deterioro que se están desarrollando.

#### 7.4.4 Modelos de Deterioro

Con la finalidad de establecer la oportunidad de las actuaciones y de fijar las estrategias de conservación más convenientes, se están desarrollando los modelos de deterioro superficial y estructural.

##### a) Modelo de Deterioro Superficial.

El modelo pretende predecir la evolución de la condición superficial del pavimento considerando como indicadores los siguientes parámetros:

##### Ahuellamiento.

Se está midiendo actualmente las zonas testigo con el Perfilógrafo Transversal, posteriormente se extenderá a toda la red al incorporar el Perfilómetro Óptico.

##### Resistencia al deslizamiento.

En las zonas testigo se está determinando con el Péndulo TRRL, Mancha de Arena y en el resto de la red se mide con el Mu Meter.

##### Regularidad superficial.

Esta, determinación se realiza mediante el Mays Meter, y pronto se incorporará, el Perfilómetro óptico.

##### Deterioro superficial

Mediante una inspección visual sistemática se observan las degradaciones de los pavimentos asfálticos, incluyendo entre otras, agrietamiento, baches, exudación de asfalto, drenaje inadecuado y desprendimientos.

En base a estas mediciones se fijarán los umbrales de intervención, para mantener las condiciones de seguridad y confort para el usuario.

b) Modelo de Deterioro Estructural.

El análisis elástico multicapa, de acuerdo con los estudios de Burmister (7), permite determinar el estado tensional de las distintas capas del pavimento.

La Pontificia Universidad Católica de Chile desarrolló un programa computacional de resolución numérica de las ecuaciones que definen el estado tensional del sistema multicapa. Por otra parte, se está trabajando en la adaptación de programas computacionales desarrollados en las Universidades de Texas y California que permiten estimar, en base a ajustar al cuenco medido en terreno con respecto a la base profunda, los módulos elásticos, las tensiones y las deformaciones de las capas del pavimento, a partir de módulos elásticos iniciales supuestos. Con estos dos programas se podrá predecir el comportamiento de la estructura del pavimento, evaluando tensiones y deformaciones.

La etapa siguiente en el desarrollo del modelo es la determinación de las Leyes de Fatiga de los materiales, que permitirán calcular la vida remanente del pavimento.

## 7.5 Investigación de la Universidad de Chile en Pavimentos de Hormigón.

### 7.5.1 Instrumentación en zonas testigos.

Los parámetros que se miden en terreno mediante instrumentación especialmente diseñada son:

- Temperaturas interiores de losa y radiación solar.
- Deformaciones de losas por gradientes térmicos.
- Deformaciones absolutas de losas bajo carga controlada (deflexiones).
- Aberturas y transferencia de carga en juntas.
- Escalonamiento entre losas.
- Variaciones de saturación en la base y en el suelo de fundación.
- Asentamientos permanentes de la plataforma

Toda la instrumentación de las zonas testigos estaba funcionando a fines de 1984. Gran parte de estas mediciones de instrumentación son señales eléctricas analógicas que se procesan en el terreno mismo con la ayuda de un microcomputador portátil, que almacena sus informes en discos magnéticos para análisis ulteriores.

Luego de la puesta en marcha del sistema se realizan campañas de mediciones en épocas de Invierno y Verano, en ciclos continuos de 26 horas.

Adicionalmente a lo anterior se ha desarrollado un procedimiento digitable de monografías detalladas, que registran la inspección visual de 300 m lineales, en cuya parte central se ubican las losas instrumentadas.

### 7.5.2 Modelos.

a) Precipitaciones.

Se desarrolló un modelo empírico-estadístico para evaluar el número de días en que el pavimento puede estar en condiciones saturadas, suponiendo conocidas sólo las características del pavimento y la ubicación geográfica del tramo en estudio.

b) Temperaturas.

Modelo de temperaturas internas de las losas, con el cual se evaluó los tiempos en que las losas eran solicitadas por gradientes térmicos en cada zona testigo.

c) Comportamiento físico.

Modelo de elementos finitos desarrollado para interpretar las medidas de deflexiones y evaluar esfuerzos internos en la losa solicitada por gradientes térmicos y carga de ejes normales.

## VIII. CONCLUSION

Aún estando a mediados del desarrollo del programa completo, es posible destacar los logros en el conocimiento del comportamiento de los pavimentos en nuestras condiciones ambientales, especialmente los del hormigón (alabeos).

La implantación de un banco de datos ha homogenizado la recopilación de antecedentes, adecuándola a su manejo computacional.

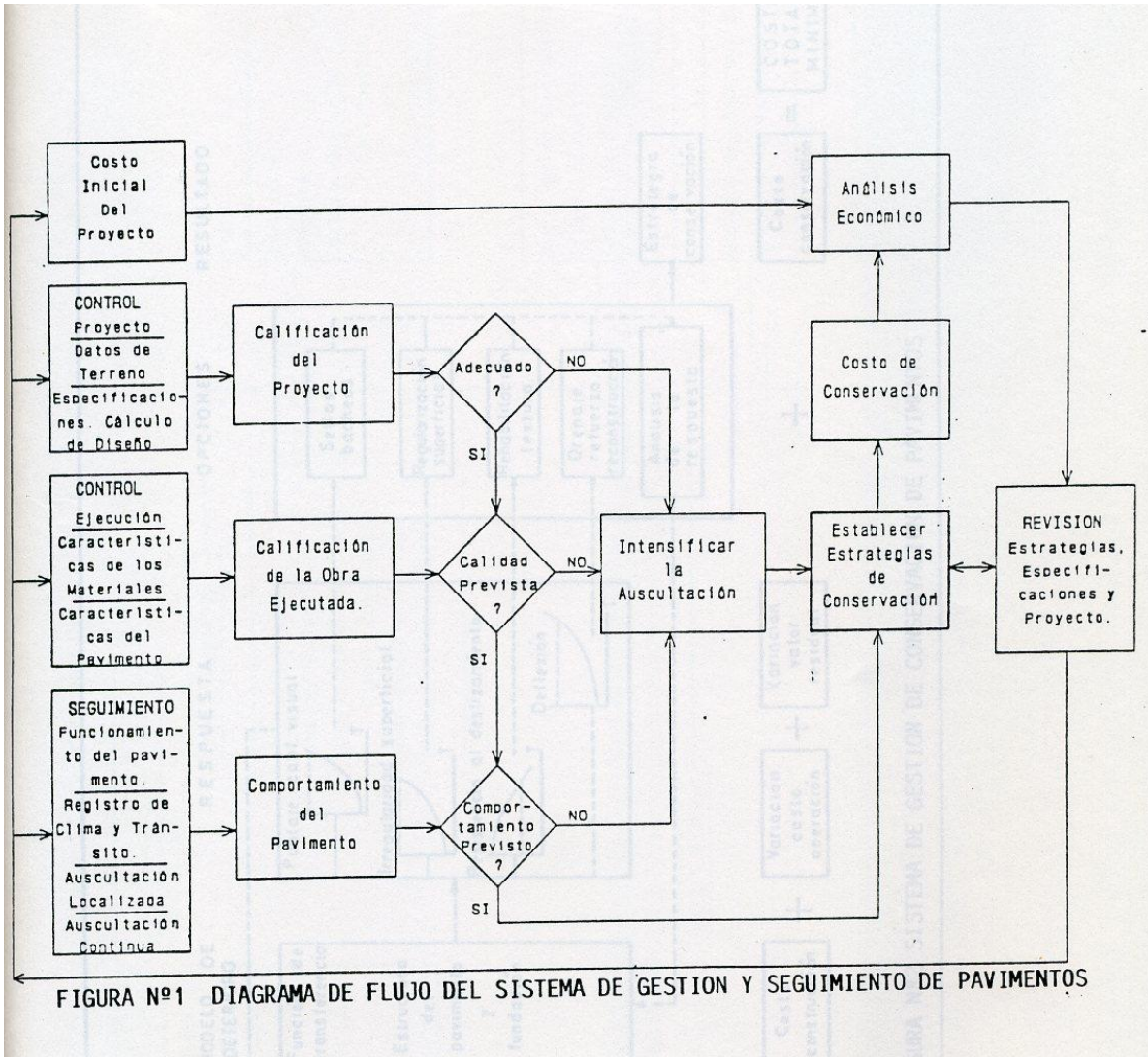
Se ha logrado un completo inventario de la red pavimentada y su estado.

Sin embargo, será necesario esperar el término del programa para conocer sus conclusiones respecto del Sistema de Gestión.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Obras Públicas, "Red Vial Básica", Departamento de Estudios, Dirección de Vialidad, MOP Chile, Santiago, 1985.
2. Ministerio de Obras Públicas, "Estudios de Pre-inversión". Departamento de Estudios, Dirección de Vialidad, MOP Chile, Santiago, 1976.
3. AASHTO, AASHTO Interim Guide for Design of Pavement. Structures, Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, 1972.

4. Ministerio de Obras Públicas, "Términos de Referencia para el Plan de Control y Seguimiento de Pavimentos", Departamento de Conservación, Sub-Depto. Planificación de la Conservación, Dirección de Vialidad, MOP Chile, Santiago, 1983
5. Kayser, H.J., "Gedanken zur Optimierung von Fahrbahnoberflächen", Bitumen 1/1985, 2-6.
6. The World Bank, "The Highway Design and Maintenance Standards Study", Transportation Department, The World Bank. HDM III, Vol. IV, 1985.
7. Burmister, D.M., "The general theory of stresses and displacements in layered soil systems", Journal of Applied Physics, Vol. 16, 1945.



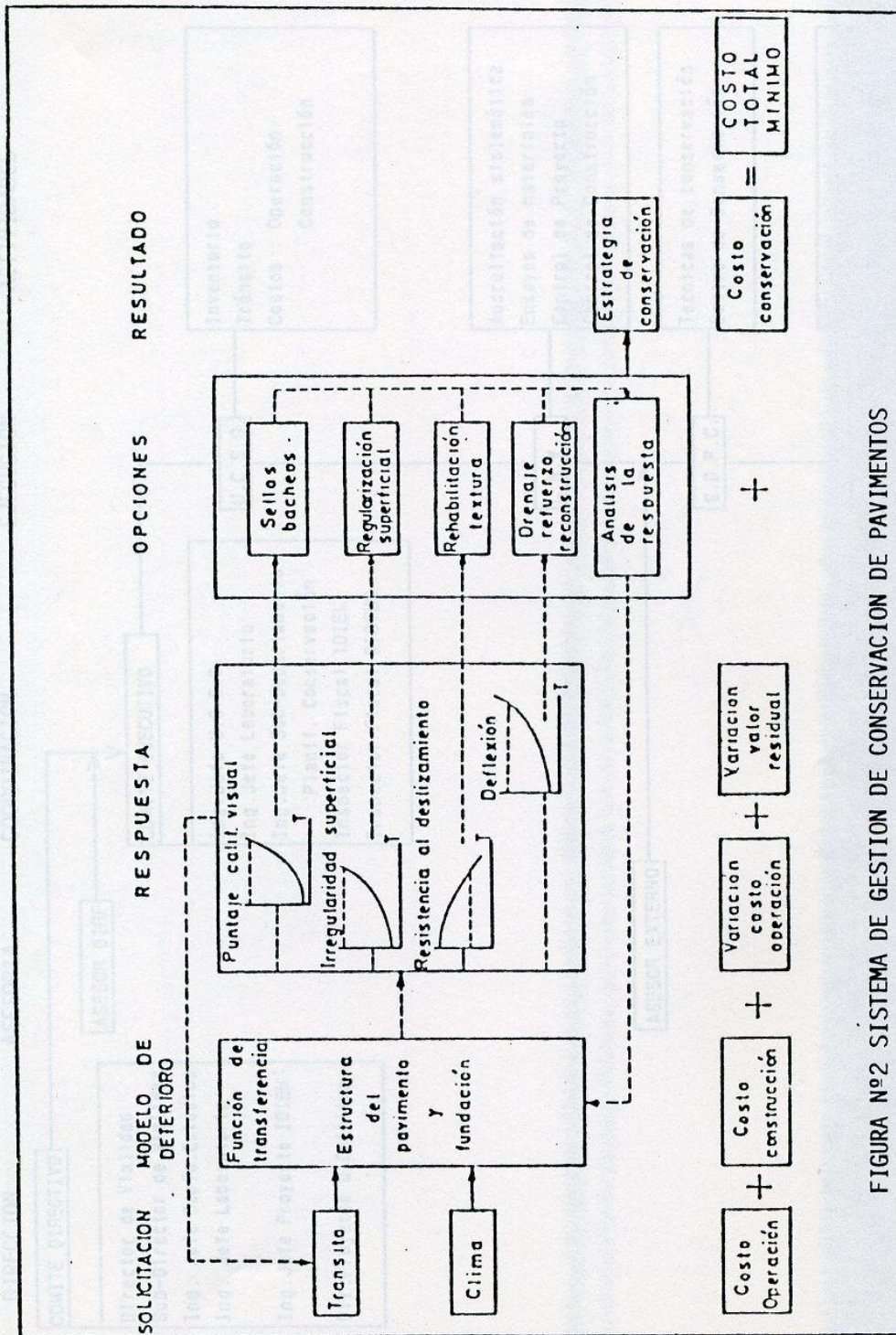
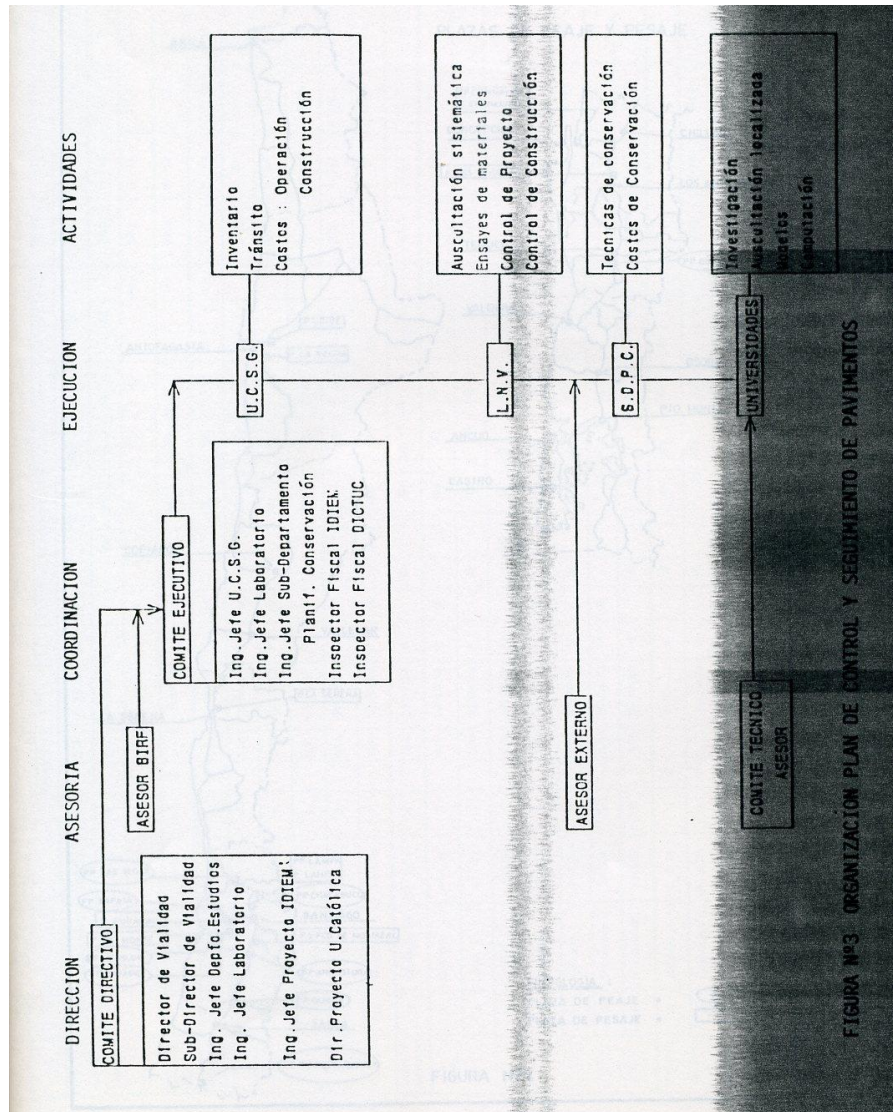


FIGURA Nº2 SISTEMA DE GESTION DE CONSERVACION DE PAVIMENTOS

FIGURA Nº2 SISTEMA DE GESTION DE CONSERVACION DE PAVIMENTOS



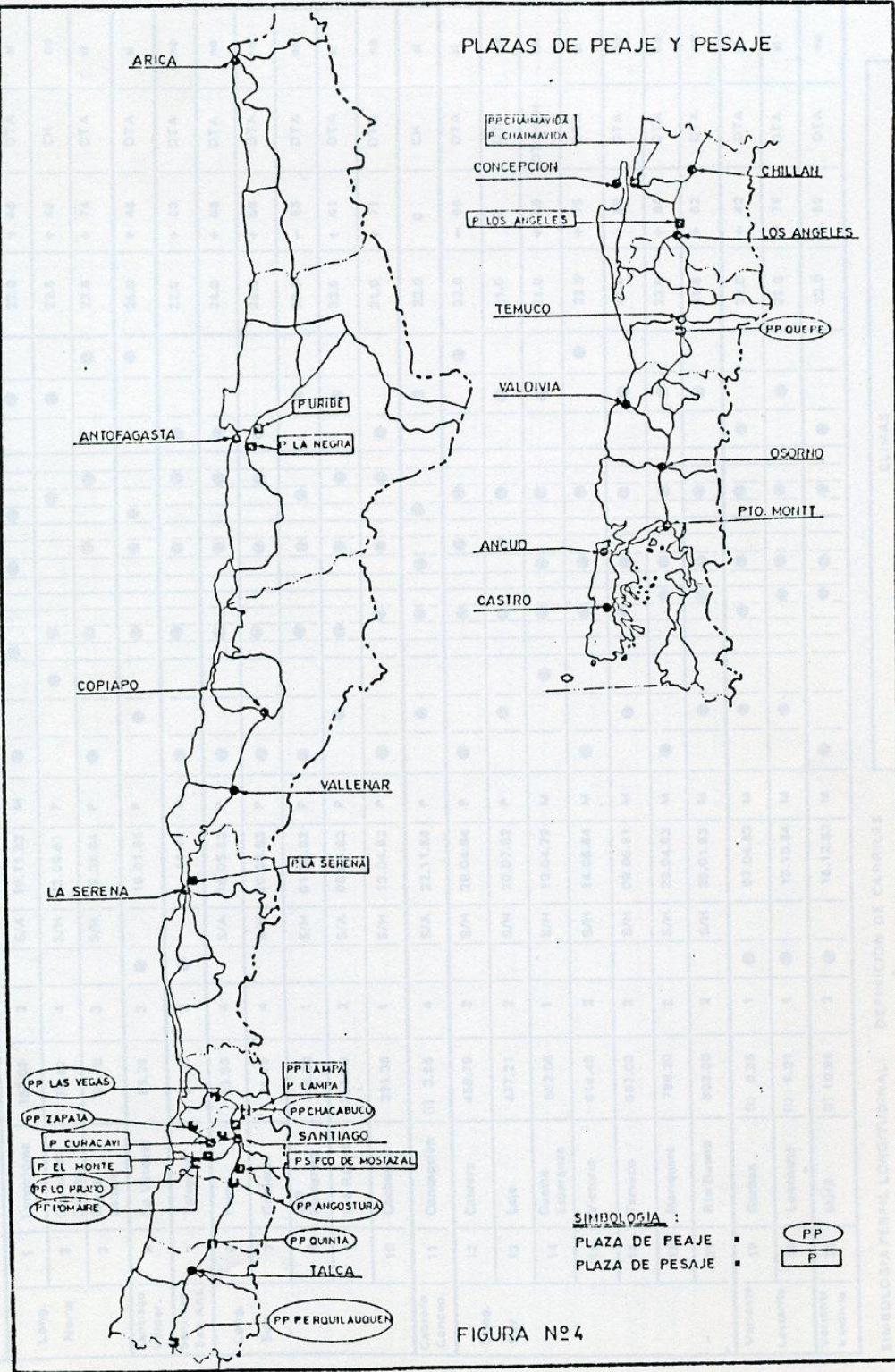


FIGURA N°4



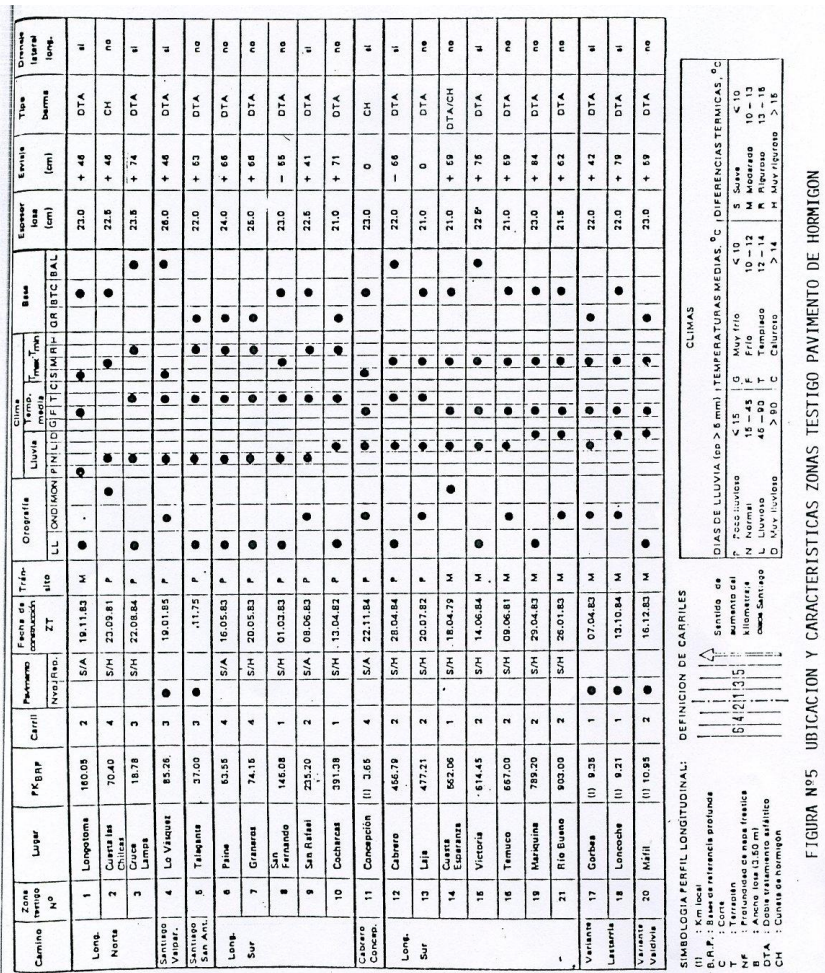


FIGURA N°5 UBICACION Y CARACTERISTICAS ZONAS TESTIGO PAVIMENTO DE HORMIGON

FIGURA N°5 UBICACION Y CARACTERISTICAS ZONAS TESTIGO PAVIMENTO DE HORMIGON

Nº	SECTOR	ROL	TRAMO DE ESTUDIO Km. a Km	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				AÑO PUESTA EN SERVO	TRANSITO	OFOGRAF.	CLIMA						
				NUOVO REPAV	RODADO	INTERNA	BASE				LL	ON	MONICRO	CRM	ESD	SM	TRH
1	URIBE-CARMEN ALTO	62A-005	1410.4 - 1410.6		S/A	MACC	MACA	X	85	X	X			X			
2	PFLITROS-ANTOFAGASTA	62A-026	0 - 2	X		MAFC		X	82	X		X			X		
3	VALL ENYAR-CHACRITAS	63A-005	669 - 671		S/A	MACC	MACA		83	X	X			X			
4	TONGOY-HERRADURA	64A-005	4395 - 44157		S/A	MAFC			82	X		X				X	
5	OVALLE-MONTEPATRIA	64B-005	15.5 - 17.5	X		TSO		X	82	X		X				X	
6	QUEB. GALVEZ-AMOLANAS	64A-005	2975 - 299.5		S/A	MACC	MACC		84	X	X	X				X	
7	CHIVATO - CHIGUALOCO	64A - 005	240.78 - 242.5	X		MACC	MACC	X	81	X	X	X				X	
8	CHIVATO-CHIGUALOCO	64A - 005	239.5 - 240.78		S/A	MACC	MACC		81	X	X	X				X	
9	CHIVATO - CHIGUALOCO	64A - 005	204 - 206		S/H	MACC	MACC		84	X	X	X				X	
10	LONGOTOMA- CHIVATO	65A - 005	174 - 175		S/A	MAFA	MAFC		81	X		X				X	
11	SAULNES - POLPAICO	73A - 005	85 - 95		S/H	MACC	MACA		85	X	X					X	
12	SAN BERNARDO - NOS	73A - 005	23 - 25		S/H	MACC	MACC	X	85	X	X					X	
13	SAN JAVIER CONSTITUCION	67B - 030	29.5 - 31.5		S/A	MACC	MACA		85	X	X					X	
14	TINAJAS - PERQUILAVUEN	67A - 005	350 - 352		S/H	MACC	MACC		81	X	X	X				X	
15	LOS SAUCES - PUREN	69B - 050	30 - 32	X		TSO		X		X			X				X
16	BY PASS LASTARRIA	69A - 005	746 - 748	X		MACC	MACC	X	85	X		X					X
17	VILLARRICA - LONCOCHE	69B - 031	10 - 12	X		TSO		X	79	X		X					X
18	SAN PABLO - OSORNO	70A - 005	9375 - 939.5		S/H	MAFA	MAFA		81	X	X						X

.MACC: MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CERRADA. S/H SOBRE HORMIGON TRANSITO OROGRAFIA CLIMA  
 .MAFC: MEZCLA ASFALTICA EN FRIO CERRADA. S/A SOBRE ASFALTO L: LIVIANO LL: LLANO TEMP: MAX  
 .MAFA: MEZCLA ASFALTICA EN FRIO ABIERTA. M: MEDIO ON: ONDULADO C: CALIENTE M: MEDIO  
 .MACA: MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE ABIERTA. P: PESADO MON: MON. T: TEMPLADO H: HUMEDO  
 TSD : TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE. TANO: TANO. T: max. T min.  
 S: SUAVE  
 R: RIGUROSO

FIGURA N°6 UBICACION Y CARACTERISTICAS ZONAS TESTIGO PAVIMENTO ASFALTICO

FIGURA N°6 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS ZONAS TESTIGO PAVIMENTO ASFALTICO

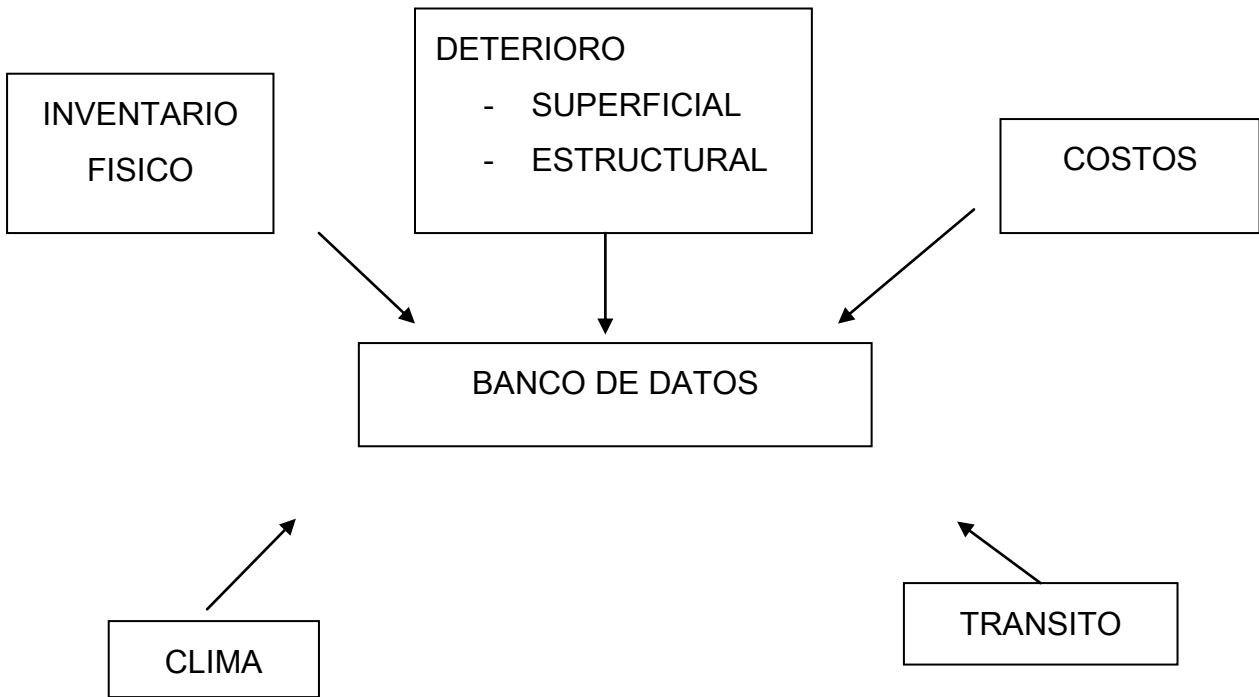


FIGURA N° 7 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL BANCO DE DATOS

