

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE

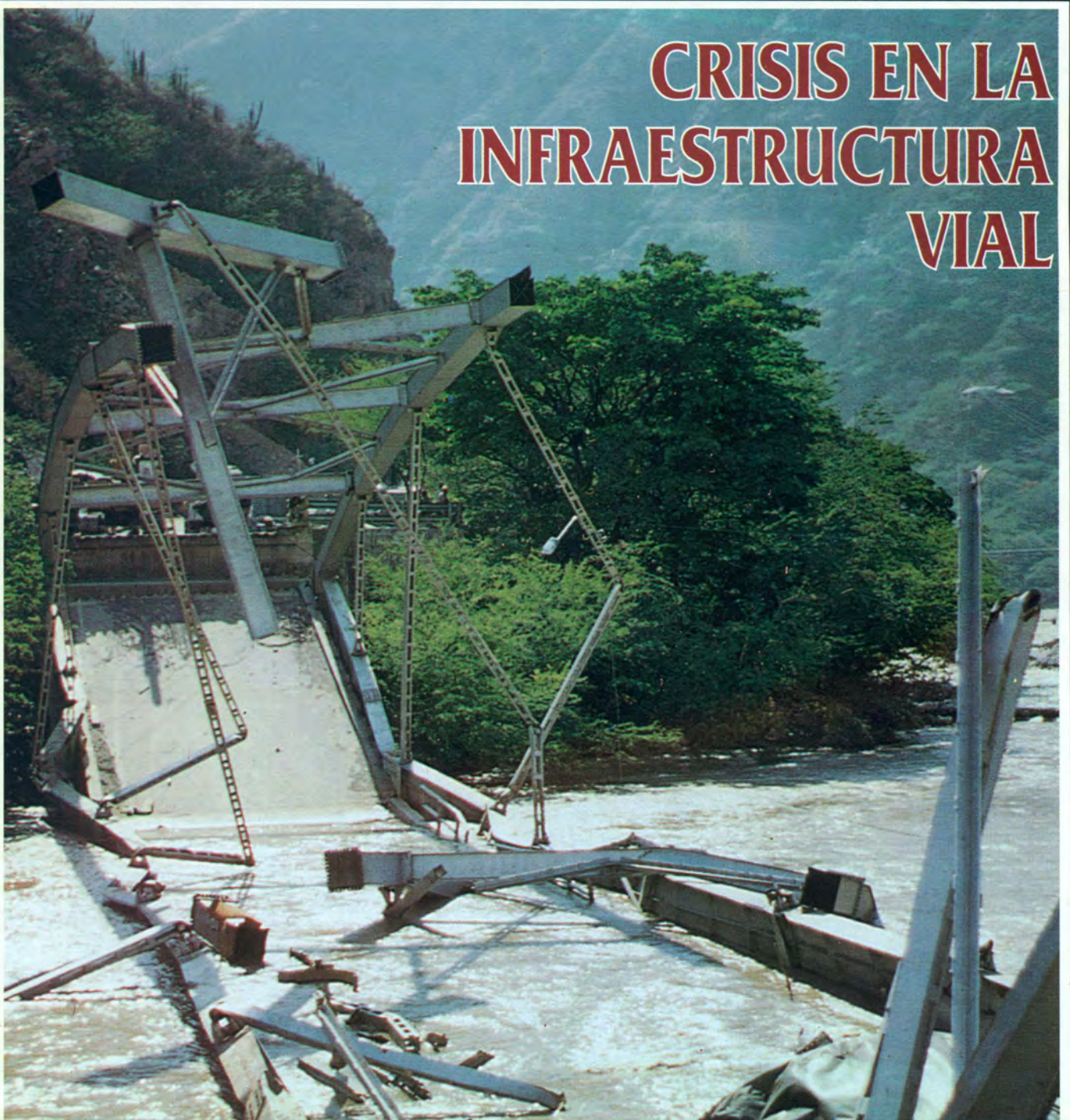
# INGENIERIA

Año 6 N° 21

Enero - Marzo de 1996

PERMISO DE TARIFA POSTAL REDUCIDA N° 1419 DE ADPOSTAL

## CRISIS EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL



# La tercera etapa

Ing. Ricardo Quintana Sighinolfi

**A** sí he querido llamar la época en que se encuentra nuestra querida Escuela, la tercera de su desarrollo. Quienes hemos dedicado buena parte de nuestras vidas al progreso y crecimiento de la escuela esperamos que ésta sea la etapa de su consolidación como una de las mejores universidades del país.

Si miramos hacia los años 1972 y 1973, encontramos unos quijotes que, conscientes de la difícil situación que atravesaba la enseñanza en el *Alma Máter* de todos ellos, deciden lanzarse a formar una nueva institución educativa con principios éticos muy claros y con una orientación independiente de credos religiosos o partidos políticos; también con la conciencia social muy clara de ofrecer oportunidades de estudios superiores de alta calidad a jóvenes de todos los estratos de la sociedad colombiana. Aquella fue la primera etapa; la de los sueños, la de la vieja casona vecina de la iglesia de Usaquén, la de responder con calidad académica a quienes nos confiaron sus hijos porque conocían nuestra trayectoria de profesores.

La segunda etapa comienza con la adquisición del terreno actual, parte de la antigua finca *El Otoño* y propiedad en ese momento de Bavaria, empresa a la cual debemos mucho por las grandes facilidades y ayuda que nos brindó para esta compra. Pudimos hacer el primer edificio; la sede propia de la Escuela ya no era un sueño sino una innegable realidad. En esta etapa hicimos, pocos años después, el hoy llamado edificio B, paralelo al inicial, que sirvió para ubicar la biblioteca y algunos salones, y para proveer un sitio adecuado para su trabajo a los profesores.

A partir de 1995 empezamos la tercera etapa con dos decisiones que van a ser fundamentales en el crecimiento futuro de la Escuela. La primera, duplicar el área construida para dar cabida a más salones de clase, más sitios de estudio y más oficinas para profesores y actividades administrativas. La segunda, crear en la Escuela una carrera distinta de las ingenierías tradicionales durante sus veintitrés años de existencia: la carrera de Economía que, estoy seguro, será una de las mejores del país, por la calidad de la persona que engendró la idea y que muy probablemente va a ser el responsable de su desarrollo.

Pero no paramos allí. Ya se está trabajando en el primer diseño del nuevo edificio de laboratorios. Somos conscientes de que los viejos galpones, dejados en los terrenos de la Escuela por su anterior propietario, prestaron un eficiente servicio durante cerca de quince años, para albergar a todos aquellos que, como lo hizo el inolvidable Alejandro Sandino, se encargan de volver realidad lo que los estudiantes han aprendido en forma teórica dentro de las clases magistrales.

De esto y mucho más está compuesta esta tercera etapa. Las redes de computadores que enlazarán todos los edificios de la Escuela, la conexión a Internet para profesores y alumnos, la creación de más facultades, la exigencia cada vez mayor a los estudiantes de la Escuela, la elevación de los requisitos académicos de admisión, la carrera docente para los profesores, los convenios con universidades del exterior que permitan intercambios durante períodos académicos completos, y todo lo que ayude a hacer realidad la idea que tuvimos los fundadores al firmar la Declaración de Principios en octubre de 1972: "La formación de los mejores ingenieros del país". En ese entonces era un sueño; hoy es una esplendorosa realidad, ampliada a otras profesiones, afines en su formación con las carreras de Ingeniería.

# Hinchamiento de lodos

Ing. Jairo A. Romero Rojas

Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; *Master of Engineering* en Ingeniería Ambiental, *Rensselaer Polytechnic Institute*, Troy, Nueva York; diplomado en Aguas Subterráneas, Universidad Hebrea de Jerusalén; Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional; director del Centro de Estudios Ambientales y profesor, Escuela Colombiana de Ingeniería. Autor de los libros: *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*; *Acuipurificación y Acuiquímica*, editados por la Escuela Colombiana de Ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

Muchas plantas de tratamiento de aguas residuales, mediante procesos de lodos activados, exhiben problemas frecuentes de hinchamiento de lodos y formación de espumas, con la consecuente reducción en la eficiencia del sistema de tratamiento. En este artículo se resumen las causas y soluciones más comunes de dichos problemas operativos.

## EL LODO ACTIVADO

El de lodos activados es un proceso biológico aeróbico, de cultivo microbioal suspendido con recirculación de biomasa. En la figura 1 se presenta el esquema típico de este proceso.

El lodo activado es un cultivo microbioal de organismos que adsorbe y remueve metabólicamente sustancias orgánicas e inorgánicas del agua residual, y produce un efluente mineralizado. La biomasa del lodo activado está compuesta, aproximadamente, por un 95% de bacterias y un 5% de protozoos: amibas, flagelados y ciliados; rotíferos e invertebrados.

Cuando la biomasa, o floc biológico formado, es de buena sedimentabilidad, el sobrenadante del sedimentador es claro, el lodo sedimentado es espeso y se obtiene un buen efluente y un buen lodo de retorno. La presencia de una cantidad óptima de organismos filamentosos permite contar con una columna vertebral, alrededor de la cual los orga-

nismos formadores de floc se aglomeran para estructurar una sustancia fuerte de buena sedimentabilidad. En un lodo hinchado los organismos filamentosos predominan y se forma un floc filamentososo de baja densidad, mal compactado, que no sedimenta apropiadamente. En ausencia de organismos filamentosos no existe columna vertebral, los flocs son pequeños y se forman los llamados cabeza de alfiler que, aunque sedimenten rápidamente, dejan un sobrenadante turbio. Por tanto, la situación óptima, un floc fuerte de buena sedimentabilidad y compactación, con sobrenadante claro de buena calidad, se logra con una población microbioal balanceada de organismos filamentosos y organismos formadores de floc.

## EL PROBLEMA

El funcionamiento apropiado de una planta de tratamiento de aguas residuales, de crecimiento biológico suspendido, requiere el desarrollo de una biomasa de buena sedimentabilidad, removible por acción de la fuerza de gravedad en el sedimentador

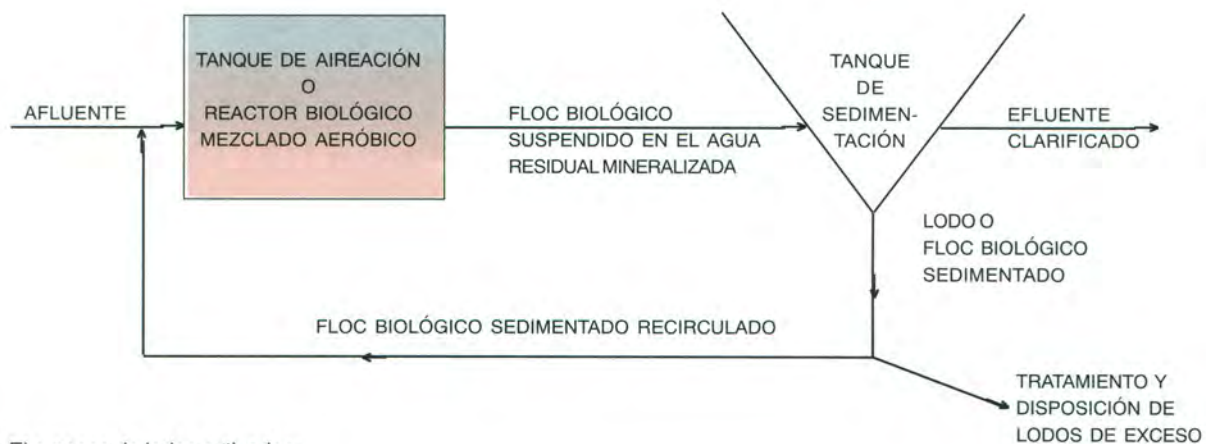


Figura 1. El proceso de lodos activados.

de lodos y que produzca un sobrenadante claro. Sin embargo, en muchas ocasiones, las plantas de tratamiento desarrollan biomasas de sedimentabilidad pobre; el floc biológico expande su volumen, disminuye su densidad y se reduce la velocidad de asentamiento. Estos lodos de sedimentabilidad pobre, lodos que se asientan y compactan muy lentamente, son la causa del problema conocido generalmente como hinchamiento de lodos (*sludge bulking*). Además, algunas plantas de tratamiento de lodos activados presentan el problema de formación de natas, de lodos espumosos o espuma abundante, especialmente en el tanque de aireación.

Los problemas de hinchamiento de lodos y de formación de espuma son muy comunes en plantas de lodos activados que no satisfacen los rendimientos solicitados de una planta de tratamiento secundario de aguas residuales. Los agentes y organismos espumantes pueden producir una espuma estable, viscosa, de color carmelita, difícil de romper mecánicamente con chorros de agua o con antiespumantes y constituyen, en ocasiones, un problema muy indeseable al formar capas muy gruesas de hasta 1 y 2 m de espesor, en el tanque de aireación, con producción de malos olores y de espumas en el sedimentador secundario y en el efluente de la planta de tratamiento.

La presencia de una capa carmelita clara de espuma, de 5 a 8 cm de espesor, sobre un 10% a 25% del área superficial del tanque de aireación, es normal en un proceso de lodos activados bien operado. Sin embargo, la formación de espuma blanca dura, de espumas carmelitas oscuras gruesas y grasosas, o de espumas negras constituye, generalmente, un problema de operación.

## CAUSAS DEL PROBLEMA

Básicamente, la causa del problema de hinchamiento es la presencia en el floc biológico de cantidades excesivas de bacterias filamentosas y hongos, filamentos en cantidades mayores de  $10^7$   $\mu\text{m}$  por mililitro de lodo activado<sup>1</sup>. Una cantidad excesiva de filamentos mantiene separadas las partículas floculentas, conduce a una estructura de floc abierto, flocs de forma irregular, con muchos vacíos entre los filamentos. Sin embargo, una cantidad pequeña de organismos filamentosos es recomendable porque sirve como columna vertebral para la estructura del floc y para retener pequeñas partículas durante la sedimentación.

Son condiciones que favorecen el crecimiento de organismos filamentosos:

- Carencia de una concentración apropiada de oxígeno disuelto.
- Insuficiencia de nutrientes.
- Concentraciones excesivas de  $\text{H}_2\text{S}$ .
- Concentraciones altas de grasas y ácidos grasos en el agua residual cruda.
- pH menor de 6.5 ó mayor de 8.5.

- Temperatura excesiva del agua residual.
  - Relación alimento a microorganismos, A/M, baja.
- Son condiciones que favorecen el crecimiento de hongos:
- pH menor de 5.
  - OD menor de 0.5 mg/L.

Además, la mezcla excesiva puede conducir a problemas de rotura del floc biológico; la desnitrificación, con producción abundante de nitrógeno gaseoso, puede causar levantamiento del lodo sedimentado, y la existencia de una relación Alimento/Microorganismos alta puede promover crecimiento biológico disperso.

El problema de hinchamiento de lodos se atribuye a más de 20 organismos filamentosos diferentes. Las tablas 1 y 2 incluyen los tipos de organismos filamentosos más abundantes en plantas con problemas de hinchamiento de lodos, así como las causas posibles que generan dichos problemas. El organismo filamentoso más común, en plantas con problemas de hinchamiento de lodos en los Estados Unidos, es el tipo 1701. *Sphaerotilus natans*, que

**Tabla 1**  
**ABUNDANCIA DE ORGANISMOS FILAMENTOSOS EN PLANTAS DE LODOS ACTIVADOS CON PROBLEMAS DE HINCHAMIENTO EN ESTADOS UNIDOS (1)**

| Escalafón | Organismo filamentoso              | % de plantas con hinchamiento de lodos en las cuales se detectó su predominio* |
|-----------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| *2        | <i>Nocardia spp.*</i>              | 31                                                                             |
| 1         | Tipo 1701                          | 29                                                                             |
| 2         | Tipo 021N                          | 19                                                                             |
| 3         | Tipo 0041                          | 16                                                                             |
| 4         | <i>Thiothrix spp.</i>              | 12                                                                             |
| 5         | <i>Sphaerotilus natans</i>         | 12                                                                             |
| 6         | <i>Microthrix parvicella</i>       | 10                                                                             |
| 7         | Tipo 0092                          | 9                                                                              |
| 8         | <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> | 9                                                                              |
| 9         | Tipo 0675                          | 7                                                                              |
| 10        | Tipo 0803                          | 6                                                                              |
| 11        | <i>Nostocoida limicola</i>         | 6                                                                              |
| 12        | Tipo 1851                          | 6                                                                              |
| 13        | Tipo 0961                          | 4                                                                              |
| 14        | <i>Beggiatoa spp.</i>              | 3                                                                              |
| 15        | Hongos                             | 1                                                                              |
| 16        | Tipo 0914                          | 1                                                                              |
| *         | Otros                              | 1                                                                              |

\* Con base en 525 muestras de 270 plantas de lodos activados.

\*\* *Nocardia spp.* fue el organismo más común en plantas con problemas de espuma, pero no de hinchamiento.

**Tabla 2**  
**TIPO DE ORGANISMO FILAMENTOSO DOMINANTE**  
**INDICADOR DE CONDICIONES CAUSANTES**  
**DE HINCHAMIENTO DE LODOS (1)**

| Condición causativa                        | Tipo de organismo filamentosos indicador                                                                            |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. OD bajo para la carga orgánica aplicada | Tipo 1701, <i>S. natans</i> , <i>H. hydrossis</i>                                                                   |
| 2. Relación A/M baja                       | <i>M. parvicella</i> , <i>Nocardia spp.</i> , <i>H. hydrossis</i> , tipos 021N, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961 y 0803 |
| 3. Residuo séptico/sulfuros                | <i>Thiothrix spp.</i> , <i>Beggiatoa spp.</i> , tipo 021N                                                           |
| 4. Déficit de nutrientes (N y/o P)         | <i>Thiothrix spp.</i> , tipos 021N, 0041 (en residuos industriales solamente) y 0675                                |
| 5. pH bajo (pH < 6,0)                      | Hongos                                                                                                              |

produce dicho problema particularmente en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. En Europa, sin embargo, el organismo filamentosos prevaleciente en lodos hinchados es el *Microthrix parvicella*. La identificación del tipo de organismo filamentosos predominante ayuda a determinar las condiciones causativas del problema como se indica en la tabla 2.

Tanto el tipo 1701 como el *S. natans* son organismos aeróbicos estrictos, utilizan carbohidratos y ácidos orgánicos para su crecimiento, y amoníaco como fuente de nitrógeno, y toleran niveles bajos de OD, del orden de 0.01 a 0.03 mg/L, valor inferior al requerido para sostener el crecimiento de bacterias formadoras de floc<sup>1</sup>.

La presencia de espuma blanca dura puede observarse en plantas nuevas, en período de arranque; indica la

existencia de un lodo joven, edad de lodos, o  $\theta_c$ , baja, concentración de biomasa en el reactor baja y consecuentemente relación A/M alta; también ocurre en plantas sobrecargadas. La espuma puede estar constituida por detergentes y, o proteínas sin biodegradar por las bacterias, debido a la relación A/M alta.

Las espumas carmelitas están asociadas con plantas que operan con cargas bajas y con plantas que tienen crecimiento del organismo filamentosos *Nocardia*. La formación de espumas negras o muy oscuras es indicadora de condiciones anaeróbicas o de residuos industriales con colorantes o tinturas.

En problemas de espumas el organismo filamentosos más común y severo es el *Nocardia* y, en menor grado, el *Microthrix parvicella*. Estos organismos y, en algunos casos, el tipo 1863 constituyen causas comunes de formación de espumas en procesos de lodos activados. En la tabla 3 se resumen las causas principales de formación de espuma. El crecimiento de *Nocardia* está asociado con temperaturas cálidas, grasas y aceites. La naturaleza grasosa hidrofóbica de la pared celular de las bacterias *Nocardia* tiende a causar su flotación cuando son aireadas, y hace que se concentren en la espuma y floten sobre el agua aun después de muertas.

## CONTROL OPERATIVO

El control operativo busca, entre otros, los siguientes efectos:

- Mejorar las características de sedimentabilidad de los lodos.
- Mantener una concentración óptima de biomasa en el reactor biológico.
- Obtener una nitrificación más rápida en el reactor.
- Posibilidad de aplicar cargas hidráulicas más altas al sedimentador sin disminuir su eficacia.
- Mejorar la eficiencia de tratamiento del proceso.



## ARQUITECTURA E INGENIERIA

GERENTE: PILAR ROJAS MACÍAS

- ▶ Elaboración de planos de ventas, modelos tridimensionales
- ▶ Cálculo de estructuras
- ▶ Digitalización
- ▶ Servicio de PLOTTER
- ▶ Sistemas CADD para arquitectura e ingeniería

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO



AUTODESK

Calle 115 No. 43-21 Apto. 102 - Tels.: 2154448 - 6129279 - Fax 6129280

**Tabla 3**  
**CAUSAS DE ESPUMAS EN LODOS ACTIVADOS (1)**

| Tipo de espuma                                                                      | Causas                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Blanca a gris, delgada                                                              | Lodo joven, edad de lodos baja, tiempo insuficiente para descomponer detergentes.                                                                    |
| Blanca, espumosa, ondulante                                                         | Existencia de detergentes no biodegradables.                                                                                                         |
| Gris como ceniza                                                                    | Recirculación excesiva de finos de otros procesos, por ejemplo sobrenadantes de digestores, centrifugas y filtros prensa.                            |
| Manto de lodo espeso sobre el sedimentador final (pobre en organismos filamentosos) | Desnitrificación, manto de lodos retenido por períodos prolongados en el sedimentador, en presencia de nitratos, especialmente a temperaturas altas. |
| Grissa, gruesa, pastosa o gelatinosa (cuando se tratan residuos industriales)       | Espuma deficiente en nutrientes, compuesta de polisacáridos producidos por los microorganismos en condiciones de nutrientes bajas.                   |
| Estable, espesa, carmelita (rica en filamentos)                                     | Espuma inducida por organismos filamentosos: <i>Nocardia spp.</i> , <i>Microthrix parvicella</i> o tipo 1863.                                        |

Los controles operativos más utilizados son:

- Mantener un índice volumétrico de lodos, IVL, menor de 150 mL/g; aunque cada planta tiene un valor específico óptimo de IVL que debe determinarse de acuerdo con la experiencia operativa previa.
- Mantener una relación alimento/microorganismos apropiada.
- Mantener una edad óptima de lodos,  $\theta_c$ .
- Identificar los grupos principales de microorganismos de los lodos activados y establecer su abundancia relativa para evaluar la calidad del lodo. La identificación puede hacerse mediante un microscopio económico de bajo poder de magnificación 100X a 400X, pues no es necesario diferenciar entre especies. Los protozoos y los rotíferos son organismos depuradores del agua residual; los primeros consumen bacterias dispersas no floculadas y los segundos, partículas de floc biológico suspendido. La presencia y el predominio relativo de protozoos, rotíferos y gusanos como los nematodos, está relacionada con la calidad del lodo activado y con otros parámetros operativos como el IVL y la edad de lodos,  $\theta_c$ ; como se indica en la figura 2. Así, por ejemplo, una pérdida de ciliados y una proliferación de flagelados es indicadora de una alteración en la operación adecuada de la planta.

Durante el arranque de una planta de lodos activados predominan las amibas y se forma muy poco lodo; en lodos dispersos, no floculentos, con producción de un efluente de baja calidad, predominan los flagelados y se pueden observar relaciones alimento/microorganismos altas y edades de lodos bajas. Los ciliados libres predominan cuando su alimento, bacterias, es abundante y la relación alimento/microorganismos disminuye. Los ciliados adheridos al floc predominan cuando hay abundancia de bacterias y el floc es grande; gracias a la rotación de sus cilios atraen a las bacterias para usarlas como alimento y contribuyen así a la producción de un efluente de buena calidad. Si la relación alimento/microorganismos disminuye en una planta convencional de lodos activados, los rotíferos y los nematodos predominan, el floc puede ser fino, tipo cabeza de alfiler, y la calidad del efluente se deteriora. Sin embargo, en plantas de lodos activados de aireación prolongada, como los zanjones de oxidación y las plantas compactas, con relación alimento/microorganismos baja, concentración alta de biomasa en el reactor y edad de lodos prolongada, predominan los rotíferos y los nematodos y se obtiene un efluente de buena calidad.

Como puede verse en la figura 2, el rendimiento óptimo de una planta de lodos activados ocurre cuando el lodo es de buen asentamiento y existe una población equilibrada de ciliados libres y adheridos, así como de rotíferos y flagelados. El procedimiento para determinar el predominio relativo de los microorganismos del lodo activado se resume y presenta en la figura 3. Las relaciones entre estos organismos y la carga orgánica de operación del proceso de lodos activados puede interpretarse como se indica en la tabla 4.

Estudios realizados por Pitman (6) en plantas de lodos activados de aireación prolongada, indican que una operación con edades de lodos de 15 a 20 días puede producir lodos de asentamiento excelente si se provee una concentración de oxígeno disuelto suficiente, mayor de 2 mg/L, para prevenir el crecimiento excesivo de organismos filamentosos.

## CORRECCIÓN DEL PROBLEMA

El problema se ha corregido de diferentes maneras, las más comunes de las cuales se sugieren a continuación:

- Modificar la operación de la planta, aplicando el afluente en forma escalonada.
- Modificar la operación del sedimentador de lodos activados.
- Mantener el pH del licor del tanque de aireación entre 6.5 y 8.5, para promover un crecimiento microbial apropiado y para evitar el crecimiento de hongos. Para ajustar el pH se puede dosificar ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido fosfórico si el pH es alto, o cal, soda ash u otro álcali o base si el pH es demasiado bajo.

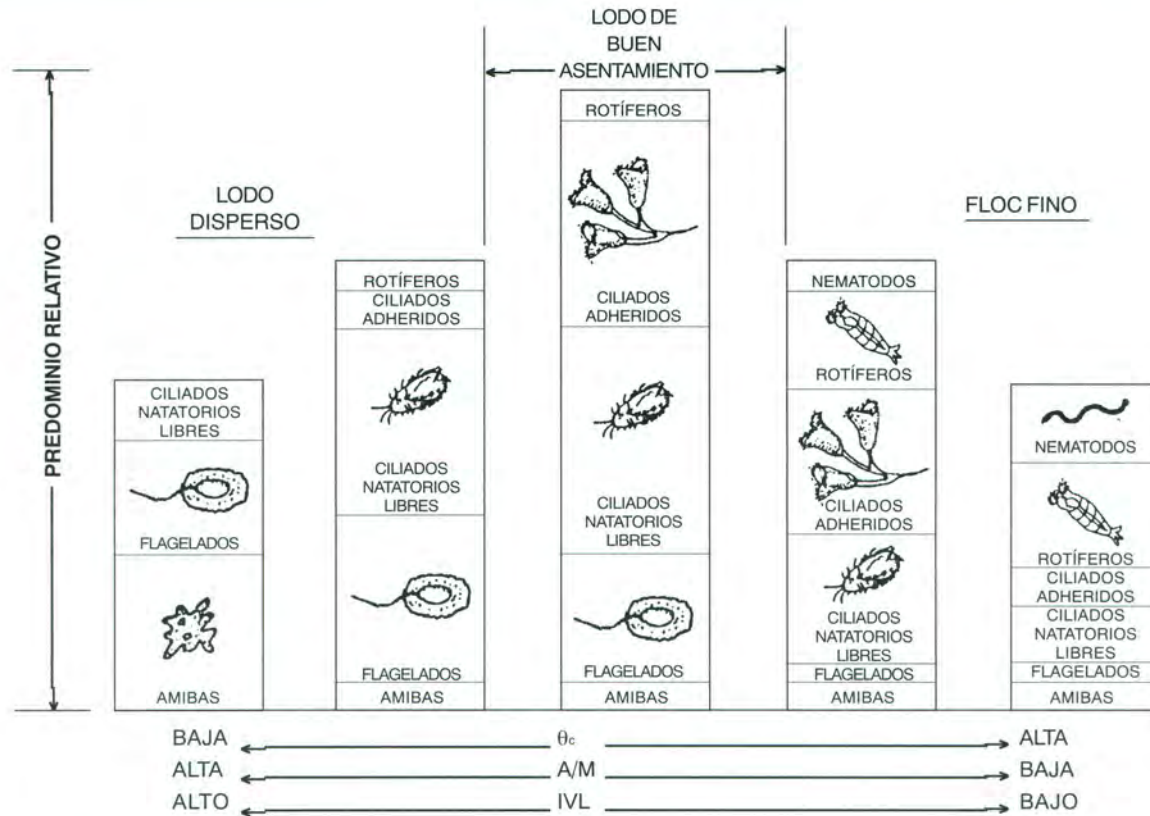


Figura 2. Número relativo de microorganismos contra calidad del lodo (3-5).

- Cambiar la tasa de recirculación y el punto de dosificación de los lodos. El aumento de la recirculación disminuye la pérdida de sólidos en el efluente. La retención de lodo, por períodos prolongados en el sedimentador crea condiciones anóxicas controladoras de ciertos organismos filamentosos, pero también puede agravar el problema al fomentar los organismos filamentosos oxidantes de sulfuros.

- Agregar polímeros y, o coagulantes, solos o en combinación, para mejorar la sedimentabilidad del lodo. Sin embargo, esto puede conducir a un costo mayor de tratamiento y posiblemente a una mayor cantidad de lodos de desecho.

- Aplicar cloro al retorno de lodos o al contenido del reactor aireado, para reducir la población de microorganismos filamentosos. La dosis debe ajustarse de tal manera que sea letal a

los organismos filamentosos que se extienden en la superficie del floc, pero que no lo sea para los organismos internos formadores de éste.

- Mantener una relación apropiada de nutrientes. En general, para una remoción orgánica adecuada se recomienda una relación de DBO/N/P de 100/5/1. Para asegurar la existencia de nutrientes en cantidad conveniente se acostumbra controlar la concentración de nitrógeno y fósforo en el efluente. La permanencia de 1.0 mg/L - N de nitrógeno inorgánico (amoniaco + nitratos) y de 0.2 mg/L - P en el efluente garantiza un suministro suficiente de nutrientes. Deficiencias de dichos elementos se pueden suplir mediante amoníaco anhidro, sales de amonio como el sulfato de amonio, cloruro de amonio o nitrato de amonio, así como con urea para nitrógeno y con ácido fosfórico, fosfato de sodio o fosfato de amonio para fósforo.

- Controlar la septicidad del afluente pues las aguas residuales sépticas contienen cantidades elevadas de sulfuros y de ácidos grasos de baja masa molecular, los cuales pueden promover el crecimiento de organismos filamentosos. El control puede hacerse con oxidantes químicos como el cloro o el permanganato de potasio, o mediante precipitación con cloruro férrico.

- Mantener una concentración de oxígeno disuelto acorde con la carga orgánica del proceso, que prevenga el crecimiento de organismos filamentosos indeseables. Generalmente se recomienda una concentración de OD de 2 mg/L para relaciones alimento/microorganismos hasta de 0.5 kg DBO/kg SSVLM.d. Sin embargo, en algunas plantas se requieren concentraciones de OD mayores, especialmente en plantas para efluentes nitrificados.

**Tabla 4**  
**RELACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CON LOS GRUPOS PREDOMINANTES DE ORGANISMOS SUPERIORES (1)**

| Condiciones           | Grupos predominantes                                                               |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Carga orgánica baja   | Ciliados adheridos, rotíferos e invertebrados superiores, especialmente nematodos. |
| Carga orgánica óptima | Buena diversidad de organismos; dominan los ciliados libres y adheridos.           |
| Carga orgánica alta   | Flagelados, amibas y ciliados pequeños libres.                                     |







- Modificar la concentración de biomasa en el reactor, para así alterar la relación alimento/microorganismos y ajustarla al valor que permita controlar el hinchamiento de lodos causado por organismos filamentosos.

**REFERENCIAS**

- 1 Richard M., *Activated Sludge Microbiology*, WPCF.,1989.
- 2 Chua H. y Le K. Y., *A Survey of Filamentous Foaming in Activated Sludge Plants in Hong Kong*, Wat.Sci.Tech., Vol. 30, No. 11, pp. 251-254, 1994.
- 3 EPA., *Process Control Manual for Aerobic Biological Wastewater treatment Facilities*, 430/9 - 77 - 006, U.S. EPA., Washington DC., 1977.
- 4 WPCF., *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*, MOP No. 11, Vol. II, 2ª Ed., 1990.
- 5 WPCF., *Activated Sludge*, MOP No. OM - 9, 1987.
- 6 Pitman A.R., *Settling Properties of Extended Aeration Sludges*, Journal WPCF., Vol. 52, p. 524, 1980

FECHA: \_\_\_\_\_  
 OPERADOR: \_\_\_\_\_  
 MUESTRA DE: \_\_\_\_\_

HORA: \_\_\_\_\_  
 TEMP.: \_\_\_\_\_ °C

| MICROORGANISMO                   |                                                                                     | LÁMINA<br>Nº 1 | LÁMINA<br>Nº 2 | LÁMINA<br>Nº 3 | TOTAL |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| AMIBAS                           |   |                |                |                |       |
| FLAGELADOS                       |  |                |                |                |       |
| CILIADOS<br>NATATORIOS<br>LIBRES |  |                |                |                |       |
| CILIADOS<br>ADHERIDOS            |  |                |                |                |       |
| ROTÍFEROS                        |  |                |                |                |       |
| GUSANOS                          |  |                |                |                |       |

PREDOMINIO RELATIVO:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

PROCEDIMIENTO:

1. Anote la fecha, hora, temperatura y localización de la muestra.
2. Prepare un mínimo de tres láminas por muestra.
3. Examine cada lámina y cuente el número de microorganismos en cada grupo.
4. Use una marca o símbolo para cada microorganismo contado, en cada espacio del grupo correspondiente.
5. Al final, totalice el número de organismos contados en cada grupo.
6. Los 3 totales más altos constituyen los organismos predominantes.

**Figura 3.** Examen microscópico de lodos activados (3-5).





# La crisis vial

## INTRODUCCIÓN

**E**s de general aceptación que el problema vial de Colombia ha alcanzado una magnitud y unas características de gravedad que lo han convertido en camisa de fuerza para el desarrollo del país y en generador de grandes males para nuestros sectores sociales y productivos.

La insuficiencia generalizada de la infraestructura del transporte terrestre, el constante y desproporcionado mal estado de las vías, las frecuentes caídas de puentes, los impactos de los derrumbes, las parálisis que suelen sufrir las regiones por interrupciones de tránsito causadas por los anteriores y otros fenómenos, los embotellamientos del tráfico en las grandes ciudades, todo esto parece ser manifestación de una grave enfermedad que sufre hoy Colombia y que, de no atacarse apropiadamente, amenaza con empeorar progresivamente. Los efectos inmediatos son, entre otros, el alto costo del transporte, la pérdida de productividad, el empobrecimiento de las regiones, el descontento general y demás secuelas sociales y económicas que se traducen en atraso y malestar.

Las anteriores evidencias han puesto en acción a los sectores más interesados en el problema para precisarlo, analizarlo, sugerir e implantar soluciones, con el ánimo no sólo de asumir la responsabilidad que a cada uno le corresponde sino, especialmente, de llamar la atención de quienes depende el cambio hacia la mejoría, particularmente a las esferas gubernamentales y al sector político en general.

Dentro de lo que va corrido del proceso de examen se han planteado cuestiones como el inadecuado trazado de las vías en el pasado, la insuficiencia de recursos, los inapropiados manejos presupuestales y de licitación, los cortos períodos de gestión de los técnicos en los institutos de la rama vial, las deficiencias en estudios y diseños y la falta de una estrategia de mantenimiento de las vías.

Ante la situación preocupante de la infraestructura vial y del riesgoso futuro que se puede entrever si no se aplican correctivos inteligentes con la urgencia que el problema exige, voces autorizadas están expresando planteamientos muy importantes e interesantes tendientes a que los sectores responsables o interesados tomen las acciones del caso en lo que les concierne y aporten su concurso para superar un estado de cosas que no puede seguir así.

La Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería quiere ser uno de los vehículos de divulgación del debate que se viene desarrollando acerca del trascendental tema que nos ocupa. Sus páginas están abiertas a los diversos planteamientos técnicos, ideológicos, académicos y críticos que contribuyan a la búsqueda de soluciones y en los cuales esté implicada en cualquier sentido la ingeniería nacional. Con este fin ofrecemos la presente sección especial que estamos entregando a nuestros lectores con el propósito, también, de ilustración y de motivación para participar en el debate.

Se incluyen en estas páginas documentos provenientes de la Sociedad Colombiana de Ingenieros y del Instituto Nacional de Vías, algunas de las conclusiones del estudio realizado por el Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, bajo la dirección del Dr. Eduardo Sarmiento Palacio (consignadas en la entrevista que le hiciera la revista *Estrategia Económica* y que se transcribe textualmente), así como las expresiones recogidas en el encuentro que la Escuela propició y realizó recientemente para tratar este tema y al cual asistieron voceros de la ingeniería, del gobierno y de la academia.

Troncal del Magdalena Medio.





# La deficiente infraestructura vial Hacer en 10 años lo que estamos haciendo en 70\*

Dr. Eduardo Sarmiento Palacio, Director Centro de Estudios Económicos, Escuela Colombiana de Ingeniería

En un estudio empírico sobre la infraestructura vial se establece que las principales fallas tienen que ver con el valor, la calidad y la duración de las obras. Sorpresivamente, las deficiencias de los estudios son un problema central. Aunque los recursos aumentan las realizaciones no siguen el mismo ritmo. La interventoría no funciona. Sarmiento propone una Junta Administradora de Proyectos similar en su independencia y poderes a la del Banco de la República. Se requiere una gran reforma del Estado.

*Usted acaba de finalizar un estudio sobre la infraestructura vial del país, junto con la Escuela Colombiana de Ingeniería. ¿Cuál es el objetivo del estudio?*

Este es un estudio típicamente empírico. El país tiene fallas crecientes en la realización de los proyectos, en unos casos porque resultan valiendo más que en el presupuesto inicial, en algunos casos porque la calidad es mala y se derrumban las obras civiles, en otros casos porque la duración de las obras es mayor a la esperada. Estamos viendo que el país no avanza en la solución de los problemas viales, energéticos y en general de todo tipo de infraestructura. La gran pregunta es qué está pasando en esa área, por qué el país no ha podido resolver sus problemas de infraestructura física. La primera respuesta es que los recursos para infraestructura

no han sido todos los que quisiéramos. Pero curiosamente la falla fundamental no está allí.

¿Cómo abordamos el problema? Partimos de una serie de hipótesis sobre las instituciones, los comportamientos, las relaciones, el aspecto tecnológico de la construcción de obras. Con base en esas hipótesis, adelantamos una serie de confrontaciones empíricas basadas en encuestas a las empresas, análisis de la evolución de los proyectos, estudios financieros, etc., y de allí fuimos identificando las posibles causas de los problemas y su importancia relativa.

El estudio contempla cuatro partes. La primera es un análisis de la evolución financiera y física de las carreteras a nivel semimacroeconómico. La segunda se fundamenta en una serie de encuestas a empresarios de la construcción. La tercera es un análisis de la evolución de 38 proyectos que están en los archivos de Inviás, para ver cuál era el presupuesto inicial, cómo se iba adicionando y cuál era el valor final del



\* Entrevista al Dr. Eduardo Sarmiento, publicada en la Revista Estrategia Económica y Financiera, N° 227, diciembre 31 de 1995.



proyecto. La cuarta fuente de información provino del análisis de los balances de las empresas que sirvió para ver las características financieras de las empresas constructoras y establecer cómo se comparan con las empresas industriales y comerciales.

*¿Cuál es la causa fundamental del atraso en infraestructura vial?*

En el análisis de consistencia financiera se muestra cómo los recursos destinados al sector vial han aumentado tres veces más que las realizaciones en términos de kilómetros construidos. Además, en los historiales de proyectos se observa que el valor final del proyecto triplica en promedio el presupuesto inicial y en algunos casos llega hasta cinco veces. Estamos ante una actividad en donde las cosas resultan valiendo tres veces más de lo proyectado. Esta es la razón por la cual la red vial no ha tenido una expansión de 5% que consulte con el desarrollo del país, sino un modesto crecimiento de 1.7%, que la ha convertido en una de las más atrasadas del mundo.

Lo más difícil es concretar las causas. Este ejercicio se adelanta en detalle en el diagnóstico. En primer lugar, en forma sorpresiva, surge el problema de los estudios como una de las causas centrales de los problemas del sector. Las deficiencias en los diseños, los análisis económicos y la programación dan lugar para que los proyectos se realicen en formas y condiciones totalmente distintas a las previstas.

***Las deficiencias en los diseños, los análisis económicos y la programación dan lugar para que los proyectos se realicen en formas y condiciones totalmente distintas a las previstas***

Segundo, las empresas constructoras no están equipadas para acometer obras de gran magnitud. Por lo general no disponen de los equipos ni del patrimonio, y sólo en el momento de iniciarse la obra empiezan a conseguir la maquinaria y el personal. La mayoría de las veces operan con márgenes muy pequeños para evitar el lucro cesante. Lo que hacen es apostar a la licitación y luego ver cómo la cumplen.

Tercero, nos encontramos ante una serie de prácticas insanas en la adjudicación, seguimiento e interventoría de los proyectos que dan margen para todo tipo de modificaciones y ajustes. El proyecto se le asigna al que presente la propuesta más baja, pero

esto es teórico, porque el proyecto termina valiendo tres veces más. El procedimiento usual consiste en bajar las cotizaciones para obtener la licitación y luego buscar todo tipo de mecanismos para elevar la propuesta inicial. Así en muchos casos se encuentra que el presupuesto básico se agota cuando se ha realizado una tercera parte del proyecto. En ese caso, si yo fuera Inviás, aplicaría la cláusula de garantía y suspendería el proyecto. Sin embargo, la actitud es muy distinta. Con el argumento que las especificaciones reales no corresponden a los diseños, se entra en un proceso de adiciones presupuestales hasta que se culmina el proyecto. En la práctica estamos ante una actividad que se inicia con una suma dada y luego se le inyecta más recursos hasta su terminación. Desde luego, este absurdo no ocurriría si se contara con buenos estudios.

Para completar, la interventoría es totalmente pasiva y subalterna. Curiosamente, como las remuneraciones de

los interventores se fijan en términos del valor de la obra, sus ingresos aumentan en la misma proporción de las demoras y de los sobrecostos.

En fin, estamos ante un sistema de estudios, de empresas y procedimientos de licitación y de interventoría inadecuados.

Hay un fenómeno muy interesante que ayuda a entender las dificultades para realizar proyectos grandes y esto es especialmente significativo en países como Colombia. La teoría sugiere la presencia de grandes economías de escala en las actividades de la ingeniería que se caracterizan por procesos cuya capacidad se incrementa al cubo y los costos al cuadrado. Por ejemplo en el caso de una piscina, el servicio está dado por el volumen, en tanto que el costo corresponde al área. Lo mismo ocurre con un motor cuya capacidad está dada por el volumen y el costo da la superficie. Esto es especialmente claro en carreteras cuya capacidad está determinada fundamentalmente por los movimientos de tierra. En general, se puede esperar que el costo por kilómetro de una carretera disminuya considerablemente con su tamaño. Pero debido a los problemas de administración y coordinación, esas ventajas de las economías de escala tienden a perderse. Las deseconomías administrativas, o lo que es lo mismo, los sobrecostos, tienden a ser mayores en la medida en que se amplía el tamaño del proyecto. Sobre esta materia adelantamos análisis novedosos. De allí se concluye que una de las principales decisiones en cualquier obra civil es su tamaño y que esta decisión debe estar fundamentada en un claro conocimiento de las economías de escala y de las deseconomías administrativas.

*En el caso de la carretera Bogotá-Villavicencio, ¿cuál es el problema?*

En este caso el estudio decía que la carretera valía 70.000 millones de pesos y sobre esa base se acordó un peaje. En el momento de iniciar la



Sarmiento:  
buscando una gran  
reforma.

obra se encontró que los estudios y los diseños no coincidían con la realidad. Así, el estudio recomienda hacer una variante, pero como ésta tiene algunos problemas, se decidió hacer un túnel que obviamente es más costoso. Adicionalmente, se han encontrado diferencias en las características de los suelos, en los movimientos de tierra, en el costo de transporte de materiales y en el precio de los predios. Lo cierto es que a los cuatro meses de iniciada la obra ya se encuentra que el costo no es de 70.000 millones sino de 125.000 millones de pesos y para subsanar la diferencia se procedió a elevar la cuantía del peaje. La diferencia está en que en el sistema tradicional el ajuste se hace a través de presupuestos adicionales, en tanto que con las concesiones se realiza por medio de los peajes.

La verdad es que se institucionalizó la práctica de decir que los estudios no sirven para cambiarlos en la marcha y de esa manera disponer de total discrecionalidad en la construcción. Las firmas constructoras ni siquiera se molestan en ir a las visitas previas para verificar la viabilidad y realismo de los estudios y de las especificaciones de las licitaciones. En las encuestas se encuentra que estas visitas no pasan de ser una formalidad. Se mueren de risa. Mientras las obras resulten valiendo tres veces más de lo proyectado, hay margen para todo tipo de errores y la planificación y la programación sobran. Pero no nos engañemos. Por este camino el país nunca tendrá los recursos ni las tarifas que alcancen para cubrir la financiación de los proyectos. Por ejemplo el monumental aumento de tarifas propuesto por el Ministro de Minas apenas contribuye a subsanar los problemas de caja de las empresas de energía. Lo más probable es que los déficit vuelvan a surgir en dos años. La

verdad es que la ineficiencia en la realización de las obras civiles es uno de los grandes fracasos de la planeación del país.

*¿Tendríamos que volver a inventar la ingeniería?*

El país tiene una buena ingeniería de diseño, pero no cuenta con un marco adecuado para pasar de la teoría a la práctica. Es usual el caso de que estudios que se elaboran en un momento dado, no se sometan a ningún chequeo ni evaluación y al cabo de diez años se intente ponerlos en práctica. Aún más grave, los diseños terminan extrapolándose para acomodarlos a una obra muy distinta a la contemplada inicialmente. La verdad es que los estudios no se valoran suficientemente. No se entiende que estamos ante una actividad que tiene un claro sustento científico y tecnológico y que haciendo buenos estudios se pueden reducir los costos de proyectos en las dos terceras partes. Algo similar sucede en economía en donde existe una enorme tendencia a pasar de los libros extranjeros a la aplicación sin un proceso intermedio de adaptación. La diferencia es que en ingeniería los errores se ven más y son más fáciles de cuantificar.

*Su recomendación es crear una Junta Administradora de Proyectos. ¿No se estarían duplicando funciones, entidades y normas que ya existen?*

No. En el fondo estamos planteando una reforma general que significa modificar las normas existentes, fortalecer otras e introducir nuevas disposiciones. En primer lugar, habría que revestir a la junta de una serie de funciones que no existen. Se requiere un organismo autónomo que opere con buenos estudios, seleccione las firmas más adecuadas para realizar las obras, cuente con los mecanismos para realizar un seguimiento y evaluación rigurosos de los proyectos y disponga de los poderes para sancionar a quienes incumplen los compromisos. Adicionalmente, se necesitan normas que concreten el tipo de sobrecostos que pueden ser autorizados y que de alguna manera, limiten su cuantía, al igual que normas que definan la responsabilidad de los consultores y constructores. Así mismo, convendría definir, así sea en términos generales, las características financieras de las empresas que están en capacidad de adelantar las grandes obras civiles y el perfil de las empresas interventoras.



En la práctica estamos proponiendo un mecanismo autónomo que actúe con un gran profesionalismo en la realización de las obras civiles. Es algo así como la Junta del Banco de la República que goza de los poderes para definir el comportamiento de los bancos y sancionarlos cuando incumplen con las disposiciones y normas. Se puede estar de acuerdo o en desacuerdo con la institución, pero no hay duda de que el Banco de la República tiene una enorme capacidad para enfrentar presiones e intereses creados. Dentro de este contexto, la actividad de la Junta Administradora consistiría en otorgar las obras a las empresas que realicen las especificaciones técnicas al menor costo y garantizar su cumplimiento. El mejor camino para lograr este propósito es conceder el proyecto a quien lo realice a menor costo, pero sobre la base de que la responsabilidad es del contratista. Por eso, si al término del 30% de la obra el constructor dice que se le acabó la plata, en ese momento se debe suspender el contrato y aplicar la cláusula de garantía. No sobra advertir que estas tareas sólo las puede realizar la Junta Administradora en la medida en que cuente con estudios idóneos. De allí que las sumas destinadas a los estudios y la preparación de los proyectos debe ser cinco o seis veces más de lo que gasta en la actualidad. Por lo demás, los estudios deben ser realizados por fir-

mas especializadas de ingeniería, pero deben estar sometidas a una interventoría, que bien puede ser internacional para que establezca el realismo y viabilidad de los estudios. Por lo demás, es indispensable una clara definición de la responsabilidad tanto del consultor como del constructor.

*¿Por qué insiste usted en que los estudios deben ser hechos por ingenieros colombianos, si precisamente encontraron que están mal hechos y son la principal causa del problema?*

La falta de seriedad de los estudios no reside en que los ingenieros realicen diseños inadecuados, sino, por el contrario, en la falta de atención a esta actividad y al bajo monto de recursos destinados para su elaboración. Sobra repetir que en Colombia, el valor de los estudios no llega ni a la quinta parte de los montos destinados en los países desarrollados. Por eso estoy de acuerdo en que la interventoría pueda ser extranjera, pero de ninguna manera la elaboración

***De mantenerse la estructura actual de empresas, estudios, licitaciones y organización administrativa, el país necesitaría 70 años para alcanzar el promedio de América Latina***

de los estudios, porque los ingenieros extranjeros saben menos que los ingenieros colombianos del país. No tengo la menor duda de que los problemas técnicos de construir carreteras están resueltos. Se trata de una tecnología bien conocida y experimentada. Si se abre la tesis de que la solución a los problemas de

la crisis vial se resuelve trayendo extranjeros para hacer los diseños, creo que nunca vamos a tener carreteras.

Lo que proponemos son empresas especializadas en interventoría que no existen en el país. La práctica generalizada consiste en designar como interventor de una obra al ingeniero de

otra empresa que realiza el mismo tipo de actividades y viceversa. Por eso, la crítica más fuerte del estudio gira en torno al aspecto de la interventoría. Esta tarea no se ha hecho en forma completa ni con el rigor deseable. Por eso,

una de las propuestas centrales consiste en que esa interventoría sea realizada por empresas especializadas. Ahora bien, si estas empresas no existen en el país, no hay más alternativa que acudir a las firmas extranjeras que realizarían una tarea similar a la que se hace en el área contable. La verdad es que en Colombia la interventoría, que es la tarea fundamental del Estado, no se realiza adecuadamente porque está en manos de un profesional subalterno que no tiene la jerarquía suficiente para sancionar al gerente de una empresa que puede ser su futuro empleador.

*¿Cómo conformaría la Junta?*

La junta debe estar compuesta por cuanto o cinco ingenieros de altísimo nivel con una amplia experiencia en la construcción y en el diseño.

*Según el estudio, ¿cuáles son las necesidades del país en carreteras?*

La expansión vial no se dio en los últimos 30 años. El país fracasó. El crecimiento de los kilómetros es de 1.7% por año, cuando se necesita un crecimiento por lo menos igual al del producto nacional. De mantenerse la estructura actual de empresas, estu-

***En Colombia la interventoría, que es la tarea fundamental del Estado, no se realiza adecuadamente porque está en manos de un profesional subalterno que no tiene la jerarquía suficiente para sancionar al gerente de una empresa que puede ser su futuro empleador***



dios, licitaciones y organización administrativa, el país necesitaría 70 años para alcanzar el promedio de América Latina. Creo que ésta sería una gran restricción para la ampliación de los mercados, para el desarrollo de las exportaciones y en general para la modernización del país. Si usted mira la evolución de los países de Europa y Estados Unidos, va a encontrar una enorme relación entre el desarrollo de las zonas y el avance del transporte. Obviamente uno de los elementos de ese desarrollo son las carreteras. De manera que ése es el punto central. En este estudio proponemos una serie de reformas que le permitirían al país romper ese cuello de botella y, en lugar de gastarse 70 años para alcanzar el promedio de América Latina, hacerlo en 10 años. Pienso que con las recomendaciones del estudio se podría conseguir ese propósito.

*Usted dice que otro problema es el financiamiento. ¿Cómo aseguraría que la Junta Administradora de Proyectos en lo futuro logre que haya más estabilidad en la obtención de recursos para el sector?*

Uno de los problemas presupuestales es que la inversión pública es el residuo del presupuesto, y dentro de la inversión pública el residuo es la inversión vial. Ahí se presentan cifras donde usted ve que la participación de la inversión vial en un año puede ser el 1.5% del producto nacional y en el siguiente año pasar a ser 0.7 o incluso 0.2%. Así no se puede programar nada. A la hora de la verdad la última prioridad son las carreteras. Son el residuo de los residuos. Muchas veces las instituciones no saben con cuántos recursos disponen o dispondrán. En el desespero se ven obligadas a solicitarle al constructor que inicie la obra con una determinada cuantía y luego en el camino se verá si se continúa o se suspende. Si bien este manejo se puede explicar a la luz de la situación presupuestal, desde el punto de vista de programación y planeación estratégica es un despropósito.

La Junta Administradora tiene que exigir una estabilidad en el manejo de los recursos al gobierno y obviamente evitar que sea el residuo. También creo que se puede pensar en la configuración de un fondo, ya sea con crédito externo o con recursos nacionales, para evitar estas fluctuaciones.

*Otra recomendación tiene que ver con la poca capacidad del Estado para hacer seguimiento de los proyectos. ¿Cómo lo obviaría?*

En el caso de la infraestructura física no estamos hablando del Estado empresario ni del Estado inversionista. Todo lo que se requiere es un Estado interventor que asigne la obra a la empresa que está en capacidad de realizar las especificaciones técnicas al menor costo y luego garantice su cumplimiento. Infortunadamente el país no ha creado un marco institucional que asegure esta gestión. Por ejemplo, en el programa ICBF de madres comunitarias se encontró que sólo la mitad de los niños registrados obtuvieron efectivamente el servicio. Así mismo, se observa que los fondos destinados a la educación no han tenido los resultados deseables en materia de calidad. El mismo riesgo existe con respecto a las cuantiosas transferencias destinadas a los municipios.

Por fortuna el problema es más simple de lo que se supone. Se requiere una gran reforma administrativa que les permita a los organismos públicos seleccionar las firmas del sector privado más adecuadas para realizar las tareas, operar mecanismos idóneos de seguimiento e interventoría para verificar la realización de los objetivos y disponer de instrumentos transparentes y estrictos que obliguen a los consultores y contratistas a cumplir sus compromisos.

A la luz de estas consideraciones, pienso que la debilidad del Plan de Desarrollo está en la falta de un marco institucional que garantice la movilización de los recursos para cumplir con sus propósitos fundamentales. En este sentido, la primera estrategia del Plan ha debido ser una gran reforma del Estado.

En fin, este es un estudio extraño en donde la solución no está en conseguir más plata y asignar más fondos, sino en una gran reforma para garantizar el buen uso de los recursos existentes o de los que vengan en lo futuro



Se mueren de risa.

# El colapso vial y la ingeniería nacional

Ing. Hernando Monroy Valencia,  
Presidente Sociedad Colombiana de Ingenieros

La Sociedad Colombiana de Ingenieros, en vista de los desastres viales ocurridos en los últimos meses y en particular los de los puentes "Heredia", en Cartagena; Pescadero, en Santander, y Purnio, en Tolima, manifiesta a la opinión pública sus criterios sobre las causas de tal situación y plantea algunas soluciones relevantes:

## EL PROBLEMA ACTUAL (1995-1996)

El aislamiento de importantes zonas del territorio nacional causado por el colapso de obras civiles viales, especialmente puentes críticos, ha generado penurias y perjuicios muy severos a grandes sectores de la población. Esta situación es inadmisibles y constituye una auténtica lesión económica y social a compatriotas que en su mayoría no tienen medios para defenderse.

## POR QUÉ SE CAEN LOS PUNTES

En todas partes del mundo se caen los puentes. Lo hacen por múltiples razones: en primer lugar por fallas generadas por la naturaleza, por ejemplo: por crecidas de los ríos que socavan sus pilas y sus estribos; por terremotos o vientos huracanados que los destruyen; por avalanchas de piedra, represamiento de troncos o cambios de curso de los ríos, etc. También colapsan por factores humanos: por accidentes de los vehículos que los transitan; por defectos de diseño o construcción (agravados por intervenciones ineficientes); por falta de super-

visión y protección contra la corrosión u otros efectos químicos y mecánicos; por excesos de carga respecto a los coeficientes de diseño y, en fin, por falta de un mantenimiento adecuado y una reposición oportuna.

Un factor especialmente crítico es el efecto acumulado de cargas repetitivas sobre los elementos resistentes de los puentes, en este caso generado por el paso de camiones que exceden la capacidad de diseño de la estructura. Se presenta así el fenómeno denominado "fatiga" o sea el progresivo debilitamiento y su eventual y súbita rotura.

Si a una naturaleza impredecible e implacable como la nuestra se suman errores, omisiones y dolos en la contratación o, en algunos casos, la im-

pericia o falta de profesionalidad de diseñadores, constructores e interventores, además de los grandes excesos de carga, el resultado es evidente: los puentes colapsan y con ellos colapsan las economías de las zonas que las vías sirven.

Trataremos a continuación los distintos temas, sin orden de prioridad relativa.

## LOS VOLÚMENES DE CARGA TRANSPORTADA

El desarrollo económico del país en las últimas décadas así como la apresurada apertura económica iniciada en 1992 han creado fuertes aumentos en los tonelajes transportados, especialmente en cuanto a carga de importación se refiere. La inoperancia, en la práctica, de los ferrocarriles nacionales y del transporte fluvial (que se ha especializado en productos al granel: carbón, combustibles, etc.), no han permitido al país absorber por estos medios los excedentes de carga



Colapso del Puente Pescadero, enero 9 de 1996.



mencionados, generándose así una utilización intensiva del transporte por carretera, sistema vial que en su mayor parte es anticuado e insuficiente para tal efecto.

Ante el crecimiento de la demanda mencionada, una parte importante del aumento en la capacidad de transporte por carretera fue cubierto por empresarios privados que adquirieron y pusieron en circulación grandes camiones y tractomulas con capacidades mayores de 50 toneladas.

Debe recordarse que, en su momento, el Ministerio de Hacienda estuvo totalmente de acuerdo con la importación masiva de equipos pesados de transporte porque este hecho le producía grandes ingresos por concepto de impuestos de aduana. Se muestra así una grave descoordinación entre las entidades de gobierno y de planeación, descoordinación que hoy se está pagando con la destrucción de las carreteras y los puentes.

Para agravar aún más el riesgo por aumento de las cargas, los transportadores han iniciado la compra de plataformas "modelo venezolano" de 80 toneladas de capacidad que, natural-

mente, superan las cargas máximas permisibles.

## EL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS

A diferencia de las empresas de ferrocarriles, los empresarios transportadores por carretera NO TIENEN la responsabilidad de mantener y reparar sus propias vías. En el país cualquier empresa puede adquirir un camión e inmediatamente ponerlo a funcionar, utilizando, LIBRE DE COSTO, las carreteras nacionales, departamentales y municipales.

En contraste, los ferrocarriles en el mundo entero y, por supuesto, en Colombia están abrumados

por las cargas y costos de mantenimiento de las vías, causa primordial de sus inmensos déficit y de los subsidios necesarios para mantenerlos en funcionamiento.

## LOS TRANSPORTADORES

El sistema unimodal actual es altamente rentable para los empresarios transportadores a pesar de los riesgos y altos costos de operación (debidos en su mayor parte precisamente a las deficiencias y riesgos de las vías),

**Los transportadores han iniciado la compra de plataformas "modelo venezolano" de 80 toneladas de capacidad que, naturalmente, superan las cargas máximas permisibles**



Puente Quebrada Blanca, Vía Bogotá/Villavicencio.

por el simple hecho de que, como se indicó, NO TIENEN que pagar el mantenimiento de la vía. Prueba de ello es la proliferación de compañías transportadoras con grandes rendimientos y capacidades económicas. Lo anterior está generando preocupantes fenómenos de aplicación de su nuevo poder, situación anómala y peligrosa que se ha manifestado en las últimas semanas por medio de paros masivos, paros que por debilidad del Estado han desembocado en la derogación de las normas.

Se hace imperativo, entonces, educar a los transportadores para que tomen conciencia de la problemática del sector y se comprometan a cuidar la frágil estructura disponible.

## LAS CARGAS ADMISIBLES Y LAS NORMAS TÉCNICAS

En primer término debe destacarse que las especificaciones de la mayoría de los puentes existentes en el país, en cuanto a resistencia se refiere, corresponden a necesidades de carga, y por tanto a normas técnicas,



**JORVAL CIA. LTDA.**  
Ingeniería Eléctrica Representaciones

 **GROUPE SCHNEIDER**  
Merlin Gerin Square D Telemecanique

Automatización industrial - Productos electrónicos de control y potencia - Subestaciones - Líneas Redes - Montajes industriales

---

Calle 72 No. 24-16/20 - Tels.: 231 84 20 - 264 09 32 - 240 67 79 - 630 00 49  
Telefax: 225 87 20 - Santafé de Bogotá, D.C.





vigentes hace 20 ó 30 años. Entretanto, las cargas y frecuencias vehiculares han llegado a triplicarse, amenazando día a día la estabilidad de la mayor parte de las vías y los puentes. Como lo ha demostrado el Instituto Nacional de Vías, se viola sistemáticamente la Ley al exceder hasta en un 50% la carga autorizada máxima de 8.2 toneladas por eje de camión.

Sorprende que no hayan colapsado más puentes. Estas mayores cargas, que generan mayores esfuerzos en los materiales, están virtualmente "molliendo" las vías. En efecto, según estudio realizado y publicado por el INVÍAS en agosto de 1995, el 24% (veinticuatro por ciento) de los vehículos de carga del país violaban las normas de peso máximo y de carga por eje.

*Una de las soluciones adoptadas en otros países para financiar el mantenimiento de las carreteras es el establecimiento de fuertes impuestos sobre los combustibles utilizados por los vehículos de carga*

## EL MANTENIMIENTO DE LOS PUENTES

El mantenimiento de los puentes nacionales, durante décadas, ha sido inexistente, insuficiente o antitécnico, lo que ha hecho muy vulnerable el sistema vial como un conjunto. Por otra parte, no se ha utilizado en el país el criterio de retiro sistemático de aquellos puentes que alcancen o sobrepasen sus vidas útiles. Los puentes se hacen trabajar hasta que se colapsan, ignorándose así deliberadamente los inmensos daños que por este motivo se causan.

## LA FINANCIACIÓN DEL MANTENIMIENTO VIAL

Una de las soluciones adoptadas en otros países para financiar el mantenimiento de las carreteras es el establecimiento de fuertes impuestos sobre los combustibles utilizados por los vehículos de carga, ligado íntimamente con la asignación exclusiva de su producido

al mantenimiento de carreteras (se subsidia selectivamente el combustible para usos agrícolas).

Otras soluciones son la instalación de peajes y la multiplicación de los contratos de concesión que incluyen condiciones especiales para el mantenimiento de los respectivos tramos. Es esto precisamente lo que está realizando con éxito el Instituto Nacional de Vías.

Son bien conocidas las ventajas y los inconvenientes de estas últimas soluciones pero, en todo caso, no parecen ser aplicables en la práctica para financiar el mantenimiento de los puentes propiamente dichos.

Una de las dificultades radica en que el Estado no tiene normas ni criterios razonables sobre la asignación y el uso de los fondos que recibe del impuesto sobre la gasolina. Descuida por esa causa (y por otras que tienen que ver con la falta de una organización y de un presupuesto adecuado) su obligación de *mantener* apropiadamente la estructura vial, en especial los puentes.

En el período 1990-1994 las asignaciones o partidas para el mantenimiento de vías y puentes fueron mínimas. El Instituto Nacional de Vías está solicitando para 1996 \$200 mil millones (equivalente a 200 millones de dólares) para atender adecuadamente el renglón. Sin embargo el presupuesto nacional asignó para 1996 una partida de sólo \$10 mil millones para mantenimiento de puentes. La petición de ampliación no ha sido aún satisfecha.

## LAS ALTERNATIVAS DISPONIBLES

Frente a la crisis vial puede afirmarse que el sistema actual, de no corregirse, causará que los puentes colombianos *se sigan cayendo*. Debe, por tanto, continuarse y



**CEDIEL**  
**INGENIEROS**  
**ASOCIADOS LTDA**

**INTERVENTORIA**  
**GERENCIA DE OBRA**  
**ASESORIAS**

Transv. 18B No. 96 - 50 Of. 305  
Tel: 236 15 09 - Telefax: 256 16 76  
Santafé de Bogotá, Colombia



Colapso del Puente de Purnio, enero 18 de 1996.

reforzarse la restricción del paso de cargas excesivas sobre los puentes.

En cuanto a los derrumbes, las difíciles condiciones geológicas de amplias zonas del país, aunadas a la deficiente supervisión y al mal drenaje de los taludes de las carreteras, así como un "derecho de vía" demasiado estrecho, seguirán produciendo *derrumbes* que continuarán destrozando las vías y arruinando periódicamente a grandes sectores de la economía. Es urgente crear programas de prevención y de vigilancia que cubran los dos temas anteriores.

## SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE RIESGOS

Para reducir los daños económicos y físicos a los usuarios del sistema vial, las autoridades deben informar amplia y oportunamente sobre el estado de las vías y los posibles riesgos de transitar por ellas. A su vez el Gobierno debería contar con una organi-

zación para recibir informes de los usuarios viales respecto al estado de los puentes y otras obras civiles, para poder actuar con celeridad sobre situaciones de riesgo inminente.

## ESTUDIOS DE PUENTES

Debe ejecutarse una clasificación de todos los puentes del país con base en criterios de existencia o

inminencia de riesgo. Las investigaciones deben realizarse con base en las más modernas técnicas de análisis estructural.

Por otra parte, tiene la máxima prioridad la modernización de los códigos y normas técnicas aplicables al diseño de estructuras viales, de tal forma que se ajusten a las necesidades reales actuales y futuras.

La gerencia de puentes, que había sido recomendada por la Sociedad Colombiana de Ingenieros desde 1994, debería definir y realizar varios subproyectos urgentes, tales como los procesos de habilitar los pisos de los puentes ferroviarios para ser utilizados en emergencias para el paso de automotores (como el que funciona entre Puerto Salgar y La Dorada), así como la contratación masiva tanto de puentes provisionales tipo Bailey como de puentes para reemplazo de estructuras ya obsoletas.

## LOS PROCESOS DE CONTRATACIÓN

La degradación de los procesos de contratación de las obras de ingeniería nacional desde hace dos décadas ha rebajado la calidad de las mismas y disminuido la confiabilidad en su operación. Se debe, por tanto, revisar los procesos de contratación de con-

**OMICRON**  
Ingenieros Asociados Ltda.

Alberto Reyes Uribe  
Jorge E. Torres Correa  
Marco A. Valentin G.  
Oscar D. Rodriguez Q.

- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
- INSTALACIONES ELECTRICAS Y
- MECANICAS

Calle 55 No. 14-76 Telefono: 345-0388  
Fax: 310-7570 Apartado Aéreo 50472  
Santafé de Bogotá



sultoría, diseño, construcción, interventoría e inspección. No siempre la propuesta más baja es la más conveniente cuando se trata de obras con vidas útiles esperadas de 50 a 100 años.

En tal sentido se hace necesaria una reforma administrativa que permita a los organismos públicos seleccionar las firmas más adecuadas para realizar las obras. Los procesos de licitación deben ser más transparentes y públicos, para lo cual deberían estar sometidos a la vigilancia severa de una junta administradora de proyectos que debería contar con poderes e independencia similares a los de la Junta del Banco de la República<sup>1</sup>.

La Sociedad Colombiana de Ingenieros en numerosas ocasiones (y últimamente en el XXII Congreso Nacional de Ingeniería reunido en Medellín en octubre de 1994, a través del importante documento denominado "La reingeniería del desarrollo nacional. Anotaciones para la formulación y ejecución del plan nacional de desarrollo 1994-1998") ha advertido el notable deterioro del sis-



Puente sobre la vía Buga/Tuluá.

tema vial en el contexto de la precariedad de la infraestructura nacional. La Sociedad Colombiana de Ingenieros ha planteado soluciones y alternativas concretas y viables de modernización; todo ello con una res- puesta muy débil, hasta el momento,

por parte de las autoridades correspondientes.

<sup>1</sup> Eduardo Sarmiento Palacio. *Fallas de los grandes proyectos y deficiencias de las firmas constructoras de ingeniería*, Centro de Estudios Económicos, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995



Autopista Norte N° 169-25 Of. 203  
Santafé de Bogotá  
Tel: 670-8729  
Fax: 615-3059  
Bp. 630-3111 Cod. 10765

- IMPERMEABILIZACIÓN
- CINTAS P.V.C.
- BLUESTOP
- JUNTAS DE POLIURETANO
- ADITIVOS PARA CONCRETO
- JUNTAS EPOXICAS
- MEMBRANAS IMPERMEABILIZANTES
- PISOS
- ENDURECEDORES



# Plan para la conservación del patrimonio vial de Colombia (PROVIAL)

Ing. Otoniel Fernández, Secretario Técnico  
Instituto Nacional de Vías



## 1. MANTENIMIENTO VIAL, UNA INVERSIÓN DE ALTA PRIORIDAD PARA COLOMBIA

Es indiscutible que el transporte por carretera está ligado fuertemente con el desarrollo socioeconómico de Colombia, puesto que el 92% del total de los pasajeros y el 95% de la carga total, excluyendo la correspondiente a ductos y líneas férreas privadas, se movilizan por dicho modo de transporte<sup>1</sup>. Ello significa que la red nacional carretera desempeña un papel fundamental dentro de la vida social, política y económica de la nación. También se puede decir, sin temor a equivocarse, que en el futuro predecible, el transporte carretero continuará siendo el de mayor contribución a la actividad nacional, comparativamente con los demás modos de transporte.

Los costos de las operaciones de transporte suman miles de millones de pesos y este monto global depende, en gran porcentaje, de las características geométricas y del estado de los caminos. En este aspecto, estudios de la Cepal<sup>2</sup> indican que los costos de operación del transporte se incrementan 3 ó 4 veces cuando el camino se encuentra en mal estado y, así mismo, afirman que la falta de un mantenimiento oportuno de las carreteras obliga a atender posteriormente su rehabilitación o aun su reconstrucción, lo cual implica costos 3 ó 4 veces mayores para acondicionar las vías hasta el estado requerido para el funcionamiento normal; es decir, que los sobrecostos para la nación se incrementan entre 6 y 8 veces, cuando la red carretera no se mantiene bien y oportunamente.

## PRESENTACIÓN

*Al iniciar actividades en 1994, el Instituto Nacional de Vías advirtió que, por deficiencias en su mantenimiento, una gran proporción de la red nacional de carreteras se hallaba en avanzado estado de deterioro y que, en consecuencia, el patrimonio vial se encontraba notoriamente comprometido, con el efecto adverso que dicha situación producía sobre la economía nacional.*

*Considerando la urgencia con que debía atenderse el problema, el Instituto preparó un plan de acción, el cual fue presentado oficialmente en febrero de 1995, durante el desarrollo del Seminario Nacional Provial, celebrado en Rionegro (Antioquia), con el auspicio del Banco Mundial. Dicho plan se enmarca dentro de las políticas y acciones del Plan Nacional de Desarrollo, encaminadas a fortalecer el desarrollo y mejorar la competitividad de la infraestructura vial del país.*

*Al cabo de un año de formulado, el Provial presenta un notable avance en su ejecución, mereciendo destacarse, por su impacto, el fortalecimiento de los programas de mantenimiento rutinario y de prevención de riesgos y atención de emergencias, el desarrollo del sistema de control de cargas vehiculares, la modernización del sistema de recaudo de peaje y la estructuración y conformación de la Subdirección de Conservación y las oficinas regionales del Instituto.*

*Santafé de Bogotá, D.C., marzo de 1996.*



Respecto de las cifras anteriores, es imperioso destacar que se trata de sobrecostos evitables que el gobierno puede y debe prevenir consolidando un buen sistema para el mantenimiento vial. Llevarlo a cabo significa, desde el punto de vista económico, una excelente inversión; no hacerlo significa desidia y, sobre todo, irresponsabilidad gubernamental para con la sociedad.

Sobre estos temas se ha profundizado, especialmente en los últimos años, en diversos foros internacionales organizados por entidades como Naciones Unidas; Cepal; Banco Mundial, BIRF; Banco Interamericano de Desarrollo, BID; Instituto Panamericano de Carreteras, IPC; Asociación Permanente de los Congresos Mundiales de Carreteras, AIPCR; Federación Internacional de Carreteras, IRF; Ministerios de Obras Públicas de varios países, Universidades, Centros de Investigación, etc. En todos los casos, hay una conclusión unánime cual es que el mantenimiento vial se ha convertido en una alta prioridad a nivel mundial, tal como ya se afirmaba en el XVIII Congreso Mundial de Carreteras celebrado en Bruselas en 1987<sup>3</sup>.

Ante el convencimiento de que no existe en nuestro medio una cultura en favor del mantenimiento en términos generales y que el "mantenimiento vial" es el "pariente pobre" de las actividades de la carretera, es indispensable la ejecución de estudios que demuestren su bondad en cifras para que los tomadores de decisiones de los diferentes organismos nacionales, llámense Presidencia de la Repúbli-

ca, Departamento Nacional de Planeación, Ministerios o Congreso, no sólo apoyen la labor, sino que se comprometan con ella y la lideren por el bien del país.

En este orden de ideas, es conveniente agregar que de mantenerse la situación actual, nuestros productos estarán en desventaja comparativa

en precios en el mercado externo si tienen incorporado un alto porcentaje de transporte nacional. También, pensando a nivel interno, el costo de la canasta familiar continuará creciendo si el costo del transporte aumenta por el mal estado de las vías.

Estudios realizados por organismos dedicados a la vialidad y al transporte terrestre automotor no sólo han demostrado que la rentabilidad de las inversiones en mantenimiento vial suelen ser más elevadas que las de las dedicadas a la rehabilitación y la construcción sino, además, que el crecimiento anual del producto bruto interno de los países se reduce entre 1% y 3% debido al costo adicional de operación vehicular y por pérdida de patrimonio vial y que dicha proporción puede duplicarse o triplicarse si se consideran otros factores conexos<sup>4</sup>. Así mismo, se ha encontrado que el mal estado de las vías aumenta los consumos de combustible<sup>5</sup> y reduce sustancialmente su nivel de servicio y su capacidad, así como la seguridad de los usuarios.

Puede afirmarse, en síntesis, que la asignación de recursos presupuestales al mantenimiento vial constituye una ex-

celente inversión financiera y una buena estrategia de servicio social.

## 2. MANIFESTACIÓN Y MAGNITUD DEL PROBLEMA: LA OBLIGACIÓN GUBERNAMENTAL DE EVITAR UN "APAGÓN VIAL"

En marzo de 1992 Colombia se vio sorprendida por un racionamiento energético sin antecedentes, el cual produjo un fuerte impacto negativo en la economía del país, gran malestar en toda la ciudadanía y, por supuesto, un enorme desprestigio para el Gobierno nacional.

El llamado "apagón" parece repetirse ahora en materia de carreteras. Así lo demuestran varias señales de alerta que de manera reiterada se hacen manifiestas en los últimos años. Al respecto, valga la pena citar el colapso de los puentes Samaná, "Guillermo León Valencia", Pescadero, Purnio y la situación crítica de muchos otros: la interrupción del tránsito por dificultades operativas y por el mal estado de los caminos y las solicitudes continuas de arreglo de vías por parte de autoridades territoriales, comunidades y transportadores en general.

Una inspección somera del estado de la red vial nacional, efectuada en noviembre de 1995, arrojó resultados preocupantes, pues casi el 50% de la red pavimentada se encontraba en regular o mal estado, mientras que la no pavimentada presenta el 35% en

regular estado y el 48% en mal estado. Por otra parte, el análisis de 1.568 de los 2.049 puentes que hacían parte en la red en 1993, efectuado con motivo del Plan Maestro de Transporte indicó que un 66% de ellos (1.034) carecía de todo antecedente, la mayoría no poseía la capacidad

*Puede afirmarse, en síntesis, que la asignación de recursos presupuestales al mantenimiento vial constituye una excelente inversión financiera y una buena estrategia de servicio social*



estructural para soportar las cargas reales del tránsito, 697 no presentaban la posibilidad de circular por el cauce de las corrientes de agua en caso de emergencias y en 628 el ancho del puente era inferior al de la calzada. Tan sólo 328 de los puentes estudiados no presentaban restricciones.

Si, además, se tiene en cuenta que a la misma fecha se habían detectado entre 130 y 150 puntos críticos por inestabilidad del terreno, se desprende que la mayor parte de la red nacional se encuentra en ESTADO CRÍTICO, es decir, en el comienzo del proceso de deterioro acelerado en términos ingenieriles. Esto significa que debe dársele atención especial e inmediata a toda la red en regular y mal estado, incluidos los puentes, para que no ocurra una catástrofe nacional que tendría, quizás, peores consecuencias que el mencionado apagón energético. La situación se torna aún más delicada por las deficiencias en la dotación de dispositivos de seguridad en las vías nacionales, tal como se detalla en la siguiente relación, de acuerdo con el inventario realizado a fines de 1994:

- El 40% de la red pavimentada carecía de señales verticales adecuadas.
- El 80% de la red no pavimentada no disponía de ningún tipo de señalización.
- No había tachas reflectivas en el 70% de la longitud de vías que las requerían.

- Faltaba la instalación del 50% de las defensas metálicas necesarias.
- El 10% de la señalización existente no prestaba servicio de utilidad a los usuarios.

### 3. PRINCIPALES CAUSAS DEL DETERIORO VIAL

El deterioro alcanzado por la red vial no fue instantáneo ni unicausal. Entre los motivos que llevaron las carreteras a dicha situación, el I.N.V. detectó los siguientes, como principales, en enero de 1995:

- Carencia, en un alto porcentaje de la red vial nacional, de programas efectivos de mantenimiento rutinario y periódico y de rehabilitación.
- Deficiencia en los sistemas de prevención y atención de emergencias.
- Debilidad en el sistema de recaudo de peaje.
- Incrementos de las cargas legales vehiculares sin la debida adaptación de pavimentos y puentes a la nueva realidad e inexistencia de un sistema de control de peso de los vehículos.
- Deficiencias en el diseño estructural y geométrico de la red vial para las necesidades del tránsito actual y futuro.
- Deficiencias de los sistemas de planeación y presupuestación en el I.N.V.
- Falta de un sistema de aseguramiento de calidad en estudios, diseño, construcción y mantenimiento.
- Inexistencia de un sistema de administración y gestión del mantenimiento en el I.N.V.

• Deficiencias en la interrelación entre los diferentes modos de transporte.

- Limitaciones por la Ley de Presupuesto anual que dificulta la continuidad de inversiones de largo plazo.
- Debilidad del sistema de financiación para el mantenimiento vial.
- Estructura organizativa inicial del I.N.V. que diluía la responsabilidad por productos y no asignaba un claro responsable del mantenimiento vial.

### 4. PLAN DE ACCIÓN

#### 4.1. Criterios generales que orientan la formulación del plan

##### 4.1.1. La solución definitiva, compromiso al más alto nivel gubernamental

El I.N.V. decidió organizar un riguroso Plan de Mantenimiento Vial Sostenido (Provincial) para resolver, en forma definitiva, el problema del deterioro de la red vial nacional y adecuarla para satisfacer plenamente las necesidades del transporte terrestre del país, el cual demanda cada día más y mejores servicios de infraestructura carretera.

Vale la pena resaltar que éste no es el primer intento en tal sentido. El antiguo Ministerio de Obras Públicas y Transporte procuró, en diversas épocas, mantener la red vial en buen estado. Para ello empleó diferentes estrategias que no produjeron los resultados esperados, siendo de destacar el programa propuesto en 1980, el cual contó con la asesoría de la misión francesa Ingeroute.

El objetivo del Instituto es lograr que Provincial no se convierta en un programa adicional y una frustración más. Se requiere, en consecuencia, una decisión política al más alto nivel gubernamental que implique en la solución a todos los actores institucionales y personales. El Salto



**plinco Itda.**  
ingenieros s.c.i.

Ingeniería hidráulica, sanitaria y ambiental

Telefax: 346 04 11 - 255 17 78 - 2 12 73 88 • Calle 69 A No. 4-77 Santafé de Bogotá, Colombia



Social, plan de desarrollo del actual gobierno, ha sentado bases firmes para la consolidación del Provia pero, dada su importancia, es preciso que el Programa quede incluido permanentemente como parte de las políticas de desarrollo del gobierno nacional, como requisito para alcanzar las metas previstas.

#### **4.1.2. El mantenimiento de la red carretera. Objetivo fundamental del Instituto Nacional de Vías. Un reto institucional**

El Instituto Nacional de Vías fue creado como resultado reciente del proceso de la modernización del Estado. Su función principal es la construcción y mantenimiento de las carreteras principales del país. Dentro de este aspecto macroorganizativo se espera que, con la reestructuración del Ministerio de Transporte y de los or-

ganismos adscritos y vinculados a él, se resuelva en forma integrada, coherente y efectiva el problema que afronta el sector transporte en el país.

En lo que respecta al mantenimiento vial, es preciso entender desde el principio que el asunto es difícil y complejo y lo es mucho más, desde los puntos de vista organizativo y administrativo<sup>6</sup> que desde el tecnológico. Ello obliga a concebir y formalizar una organización institucional adecuada que se responsabilice de los procesos que conduzcan a lograr un buen mantenimiento vial.

Por esto, es conveniente mencionar que la estructura organizativa inicial del I.N.V., caracterizada por ser

funcional, vertical y de baja responsabilidad, no es la apropiada para desarrollar el Provia. Por tanto, se requiere una reorganización de la entidad que

contemple dentro de la estructura la unidad responsable del mantenimiento vial con procesos gerenciales bien definidos.

#### **4.1.3. Nueva visión de la red nacional carretera. Infraestructura de servicio social**

En términos macro, la infraestructura vial no se debe mirar como un fin en sí misma, sino como

un medio indispensable, aunque no suficiente, para el desarrollo socioeconómico de la nación.

Sobre este tema, un estudio del Banco Mundial<sup>7</sup> afirma que ...“El aumento de la capacidad de infraestruc-

*Es preciso que el Programa quede incluido permanentemente como parte de las políticas de desarrollo del gobierno nacional, como requisito para alcanzar las metas previstas*





tura y el crecimiento del producto económico van a la par; un aumento de 1% en el capital de infraestructura va asociado al crecimiento del producto interno bruto (PIB) de 1% en todos los países"... Ante este hecho, los asuntos de la infraestructura, tanto en su desarrollo como en su mantenimiento, deben ser parte de las estrategias centrales de los planes de desarrollo del Gobierno Nacional. Desde el punto de vista socioeconómico, se puede "pensar la red vial como la infraestructura de una gran Empresa de Servicio que debe

lograr la satisfacción plena de sus usuarios"<sup>8</sup>.

Este último enfoque modifica paradigmas anteriores de carácter paternalista que responsabilizaban sólo al Estado de la ejecución directa de todas las tareas requeridas por la red carretera y va dando paso a otras ideas como descentralización, regionalización y ejecución privada o no gubernamental, en muchas de las actividades que antes sólo se entendían como propias de las entidades estatales.

#### 4.1.4. El mantenimiento. Una labor integral preventiva

La experiencia demuestra que en las labores de mantenimiento siempre se le ha prestado la mayor atención a algunos elementos del camino como los pavimentos y en menor grado a otros, como los taludes, las obras de drenaje, los muros de contención, las señales verticales, las marcas horizontales y, aunque parezca increíble, a los puentes.

En el nuevo plan se obliga a darle el mantenimiento requerido a todos los elementos del camino para que éste, como un todo, preste el mejor servicio al usuario. Según este criterio, la organización del mantenimiento debe tener en cuenta las diversas actividades permanentes requeridas en cuanto a conservación rutinaria y periódica y adaptación, como respuesta a las condiciones cambiantes, tanto del tránsito como del medio ambiente, en los taludes, obras de drenaje, estructuras de retención, puentes, pavimentos, señales, marcas viales, zonas aledañas, etc. Bajo este criterio, la colocación de los refuerzos que el pavimento y

## Eficiencia con

# PRECISION

Sistema Integrado de Presupuesto Programación y Control de Proyectos

 salazar  
ferro  
Ingenieros s.a.

Cra. 53B No. 124-43  
Tel.: 253 0720  
Santafé de Bogotá, D.C.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA  
Autopista Norte Km. 13 Tesl.: 676 0077 - 676 0372  
A.A. 14520 Santafé de Bogotá, D.C.





demás estructuras requieren progresivamente, constituye parte del mantenimiento periódico vial que evita la necesidad de acometer su rehabilitación. La rehabilitación de las vías prácticamente desaparece cuando existe un sistema efectivo de mantenimiento periódico.

#### 4.1.5. El mantenimiento vial. Un complejo problema tecno-político

Para resolver en forma adecuada el problema del deterioro de la red vial, se requiere de un proceso tecno-político. Este aspecto se ha trabajado activamente. El mantenimiento vial tiene fuertes raíces culturales con implicaciones sociales, políticas, económicas y tecnológicas, que lo convierte en un tema de alta complejidad. Es por este motivo que su análisis y solución deben incluir las diversas variables. Es preciso, por ello, utilizar una herramienta potente de planificación pública que involucre en forma integral todos los aspectos que inciden en el problema. Para tal efecto, el Instituto Nacional de Vías ha venido empleando los conceptos, criterios y metodología de la Planificación Estratégica Situacional<sup>9</sup>.

#### 4.1.6. Criterios de priorización de la acción de mantenimiento

Debido a la escasez de los recursos, resulta indispensable jerarquizar su asignación. Por esta razón, inicialmente las carreteras fueron seleccionadas, de acuerdo con su tránsito promedio diario, el volumen de carga movilizada por ellas anualmente y, por supuesto, según su estado funcional y estructural.

En relación con el tránsito promedio diario, los estudios efectuados en la red vial nacional en el año 1993, presentaron la distribución que se indica en la tabla 1:

Se puede observar que en dicho año, sólo 226 Km tenían un tránsito

superior a 10.000 vehículos diarios, los cuales corresponden a vías suburbanas de las principales ciudades como Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga y Cúcuta. También, se advierte que la red con tránsito mayor a 1.000 vehículos diarios era de 8.000 Km, los cuales se encuentran pavimentados casi en su totalidad.

En cuanto a la movilización de la carga, la tabla 2 muestra la distribución correspondiente al mismo año.

Dicha información permite concluir que en aproximadamente 300 Km se concentra el mayor movimiento de carga (entre 10 y 25 millones de toneladas/año) y que la red por la cual se transporta más de un millón de toneladas/año, es de 7.000 Km.

La utilización de la red, calculada en vehículos-kilómetro, se muestra en la distribución porcentual indicada en la tabla 3. Se puede deducir que por el 10% de la longitud de la

Tabla 1  
DISTRIBUCIÓN DEL TRÁNSITO EN LA RED NACIONAL CARRETERA (1993)

| Tránsito promedio diario (T.P.D.) | Longitud Km | Longitud acumulada Km |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------|
| > 10.000                          | 226         | 226                   |
| 5.000-10.000                      | 946         | 1276                  |
| 2.500-5.000                       | 2114        | 3286                  |
| 1.000-2.500                       | 4573        | 7859                  |
| 500-1.000                         | 2983        | 10842                 |
| < 500                             | 7106        | 17948                 |

Tabla 2  
DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA EN LA RED NACIONAL CARRETERA

| Toneladas/año (Miles) | Longitud Km | Longitud acumulada Km |
|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 25.000-10.000         | 291         | 291                   |
| 10.000-5.000          | 2038        | 2329                  |
| 5.000-1.000           | 4488        | 6817                  |
| 1.000-500             | 3047        | 9864                  |
| 500 o menos           | 8028        | 17892                 |

Tabla 3  
DISTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS-KILÓMETRO EN LA RED NACIONAL CARRETERA

| % Km acumulados | Longitud acumulada (Km) | % Vehículos-Km acumulado |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| 10              | 1784                    | 44.5                     |
| 20              | 3579                    | 62.4                     |
| 40              | 7136                    | 83.5                     |
| 50              | 8928                    | 0                        |



red circula el 44.5% de los vehículos-kilómetro acumulados y que por el 40% de ella (7.136 Km) circula el 83.5% de los vehículos-kilómetro. En otras palabras, se puede afirmar que actuando sobre un 40% de la red, se producirá impacto favorable sobre más del 80% de los usuarios.

Para optimizar esta intervención, el I.N.V. ha previsto emplear en el futuro inmediato la información resultante de la aplicación del Programa HDM-III y considerar las recomendaciones del Plan Maestro de Transporte.

## 4.2. Operaciones del Provia

De acuerdo con el análisis del problema, la identificación de las causas fundamentales del deterioro de la red vial nacional y teniendo en cuenta los criterios expuestos anteriormente, se han diseñado y puesto en marcha las siguientes operaciones:

- Formulación de programas de mantenimiento rutinario y periódico y rehabilitación de la red vial.

- Creación de una oficina y de un sistema especializado para la prevención y atención de emergencias viales.

- Modernización del sistema de recaudo de peaje.

- Desarrollo del sistema de control de carga vehicular.

- Modernización y expansión de la red vial nacional.

- Fortalecimiento del sistema de planeación del I.N.V.

- Aseguramiento de la calidad en estudios, diseño, interventoría, construcción y mantenimiento de obras viales.

- Creación de un sistema de administración y gestión del mantenimiento en el I.N.V.

Adicionalmente, la solución integral al problema del deterioro de la red vial contempla la ejecución de una serie de acciones que se encuentran fuera de la gobernabilidad del Instituto Nacional de Vías, a saber:

- Conformación de un sistema multimodal de transporte equilibrado de acuerdo con la demanda.

- Inclusión de recursos financieros suficientes para el mantenimiento vial en los Planes Nacionales de Desarrollo.

- Creación de un sistema seguro de financiación para el mantenimiento vial con cargas a los usuarios.

- Fortalecimiento de la capacidad de gestión del I.N.V.

Igualmente, para la reducción de la siniestralidad en la red vial, es preciso emprender un programa nacional de seguridad vial.

## 4.3. Resultados esperados

Si las circunstancias son favorables, es decir, si se presentan condiciones propicias en términos presupuestales, organizativos y de apoyo político por parte de las entidades nacionales y la respuesta positiva del sector privado, el I.N.V. espera los siguientes resultados al finalizar 1997:

- Estado de la red pavimentada: Bueno: 75%; regular: 20%; malo: 5%.

- Estado de la red no pavimentada: Bueno: 80%; regular: 20%; malo: 5%.

- Los puentes de la red vial nacional se encontrarán: Sin antecedentes: 0%; provisionales: 3%; con ancho insuficiente: 25%, en buen estado: 70%.

Los puntos críticos de inestabilidad deberán estar resueltos en un 50%.

En cuanto a señalización, la meta es: Señalización vertical: 100%; colocación de tachas reflectivas en 80% de la longitud que la requiera; instalación de defensas metálicas en el 80% de la red que las requiera; operatividad de la señalización instalada: 100%.

Si las circunstancias son desfavorables en términos económicos y políticos, los resultados esperados son los siguientes:

- Estado de la red pavimentada: Bueno: 65%; regular: 25%; malo: 10%.

- Estado de la red no pavimentada: Bueno: 50%; regular: 30%; malo: 20%.

- Los puentes de la red vial nacional se encontrarán: Sin antecedentes: 0%; provisionales: 5%, con ancho insuficiente: 28%; en buen estado: 50%.

- Se habrá resuelto 30% del total de puntos críticos.

- En cuanto a señalización, la meta es la misma del caso anterior.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La puesta en marcha del Provia ha detenido el deterioro de la red vial nacional y ha comenzado a resolver el problema en sus aspectos neurálgicos, por cuanto se han atacado sus causas principales.

- El éxito del plan radica en el hecho de que sea sostenido y, por tanto, requiere apoyo permanente al más alto nivel gubernamental hasta lograr que toda la red vial se encuentre en buen estado.

- Se ha comprobado que por un porcentaje muy limitado de la red vial



Proyectistas Civiles Asociados Ltda.

## Diseño



Cra. 10 No. 93-51,  
Telefax: 6-10-42-00 - 2-18-76-04  
2-18-77-03 - 2-57-02-25 - 6-10-37-57  
Santafé de Bogotá, D.C. Colombia



circula casi la totalidad del transporte de carga por carretera. En consecuencia, los esfuerzos para el mejoramiento y adaptación de dichas vías deberán ser prioritarios.

– Siendo evidente que el modo carretero seguirá prevaleciendo dentro del sistema de transporte, se requiere expandir la red vial con el fin de asegurar la accesibilidad a todos los puntos estratégicos del territorio y difundir la capacidad de desarrollo de la nación. Por otra parte, se deberá contemplar la mejora de las infraestructuras de conexión intermodal.

– Los recursos tradicionales destinados a la provisión y mantenimiento de la infraestructura carretera han resultado insuficientes, motivo por el cual deberán instaurarse mecanismos que garanticen la financiación oportuna de los programas incluidos en el plan.

– Una política que se antoja prioritaria en la adecuación de la infraestructura vial, es la relacionada con la seguridad. Al efecto, urge la puesta en marcha de un plan nacional de seguridad vial.

– La adaptación de la reglamentación sobre cargas vehiculares a los estándares internacionales, es un requisito indispensable para garantizar la adecuada participación de nuestro transporte terrestre de carga en el concierto internacional. Además, el fortalecimiento del sistema de control de cargas como medio de proteger las carreteras y los puentes, es asunto de especial relevancia.

– El aseguramiento de la calidad de las obras viales es otro de los com-

promisos del Instituto Nacional de Vías. Al efecto, se han definido criterios y procedimientos para asegurar la calidad en los proyectos viales y se está creando un sistema de auditoría de gestión de los contratos de obra e interventoría.

- 1 MOPT. Plan Maestro de Transporte. En 1989, el total de pasajeros transportados fue de 66.238.000 (100%) de los cuales se movilizaron por carretera 59.945.000 (90.5%). El total de carga transportada incluyendo ductos y ferrocarriles privados fue 112.328.000 toneladas (100%) de los cuales 67.934.000 (60.5%) se movilizó por carreteras.
- 2 Schliesser, Andreas. Bull, Alberto. *Caminos. Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales*. Naciones Unidas. Cepal, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, 1992.
- 3 AIPCR. XVIII Congreso Mundial de Carreteras. Bruselas, 1987. "La conservación del patrimonio existente está llegando a ser la primera prioridad a nivel mundial, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo".
- 4 Agencia Alemana de Cooperación, GTZ. Federación Internacional de Carreteras, IRF. *Programa para la Conservación de las Redes Viales de América Latina*, Washington, 1994.
- 5 Instituto Colombiano del Petróleo, *Ahorro de Combustibles por el Buen Estado de las Vías*, Piedecuesta, 1994.
- 6 Banco Mundial. *El Problema del Mantenimiento Vial y la Asistencia Internacional*. Washington, D.C., diciembre de 1991.
- 7 Banco Mundial. *Informe sobre el Desarrollo Mundial. 1994. Infraestructura y Desarrollo*, p. 3, Washington, D.C.
- 8 Fernández, O. Hernán Otoniel. *Calidad Total Aplicada al Mantenimiento Vial*. Primer Seminario Provincial para los Países Andinos y Panamá. Agosto de 1993.
- 9 Matus, Carlos. *Política, Planificación y Gobierno*. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. ILPES. Fundación Altadir. Caracas, 1992.



**Angi Tours LTDA.**

Calle 57 No. 25-69  
Tels.: 210 1437 - 248 6966  
Fax 210 1278  
Santafé de Bogotá, D.C.



TURISMO RECEPTIVO



EXCURSIONES



RESERVAS HOTELES



CRUCEROS



ALQUILER AUTOS



PASAJES NACIONALES E INTERNACIONALES



# El problema vial en Colombia

## ¿Existe una alternativa de solución?

Luz Stella Millán G., periodista, asesora de comunicaciones  
Escuela Colombiana de Ingeniería



Puente de Pescadero.

**E**n desarrollo de una serie de encuentros que ha planeado la Escuela Colombiana de Ingeniería para debatir problemas pertinentes al campo de la ingeniería en el país, se realizó en la sala del Consejo Directivo de la Escuela una reunión a la cual fueron convocadas las diferentes partes comprometidas en el problema de la infraestructura vial en Colombia.

Asistieron el Dr. Eduardo Silva, Rector de la ECI; el Dr. Hernando Monroy, presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros; el Dr. Alvaro González, Vicerrector de la ECI; el Dr. Eduardo Sarmiento, Director del Centro de Estudios Económicos de la ECI; el Dr. Otoniel Fernández, Secretario Técnico del Invías; Ing. Luis Fernando Carrillo, Contratista; Ing. Santiago Henao, Director Ejecutivo SCI; Ing. Enrique Ramírez, Interventor de vías; Ing. Alfredo Santander, Consultor; y periodistas invitados Rafael Vesga Fajardo, El Tiempo; Adriana Villegas, El Espectador, especializados en el área económica, así como los miembros del Consejo Editorial de la Revista, encabezado por su director, Ing. Jorge Tarazona, la Directora del Departamento de Publicaciones de la ECI, Jimena Lemoine y la asesora de comunicaciones Luz Stella Millán.

La reunión se inició con el planteamiento de interrogantes relacionados con la génesis del problema vial actual, su probables responsables y sus posibles soluciones, para que la academia, los ingenieros y el Estado, con la prensa como testigo, pudieran expresar sus puntos de vista sobre estas críticas cuestiones.

### BAJA DENSIDAD, TRAZADO DEFICIENTE Y MAL ESTADO

Según el Ing. Otoniel Fernández, hace dos años se escribió un documento en el Invías, en el cual se enfocaba la problemática vial de varias formas:

“Uno de los problemas es la densidad vial; la red colombiana es muy escasa, con 100 metros de carretera por cada kilómetro cuadrado; por esa baja densidad, cuando se presenta algún problema, como un deslizamiento o la caída de puente, las regiones quedan aisladas. Comparada con otros países de América en vía de desarrollo, esta situación es una desventaja grande.

“Esa red escasa presenta muchas limitaciones; la red nacional o principal es muy pequeña. El MOPT tenía a su cargo aproximadamente 30.000 kilómetros de red; el Invías responde en la actualidad por aproximadamente 15.000. Esto significa que la red principal es de 15.000 kilómetros, en un país que tiene más de un millón de kilómetros cuadrados; eso nos da una idea de lo limitada que es la red.

“En segundo lugar, la red tiene una serie de deficiencias en cuanto a diseño geométrico. Ella fue trazada para unir pueblos, porque en las cordilleras estaban los principales asentamientos humanos del país, y no pensando en los grandes centros de producción y consumo, ni tampoco en los puertos adonde deben llegar los productos de exportación. Esto se empieza a resolver ahora con la construcción de algunas carreteras.

“De los 15.000 kilómetros mencionados, el estado de la mayor parte es entre regular y bueno; pero, lo que es la red secundaria y la red terciaria,



la red departamental, la vecinal y la red municipal están entre regular y mal estado.

“En cuanto transitabilidad, un 15% de la red principal está en mal estado. Es una red, para las condiciones actuales, obsoleta; los costos de operación son altos y, como conclusión, tenemos que existe una red limitada, si se mide con los parámetros de densidad vial”.

## FALTA DE RECURSOS

La Sociedad Colombiana de Ingenieros, por boca de su presidente, el Dr. Hernando Monroy, expresa que es lamentable ver cómo la ingeniería es puesta en vindicta pública y se responsabiliza a los ingenieros del problema de las vías; obviamente tienen alguna, pero no toda la responsabilidad puede recaer únicamente sobre este gremio. “Es claro que hoy existen mayores recursos técnicos para construir, pero el problema ini-

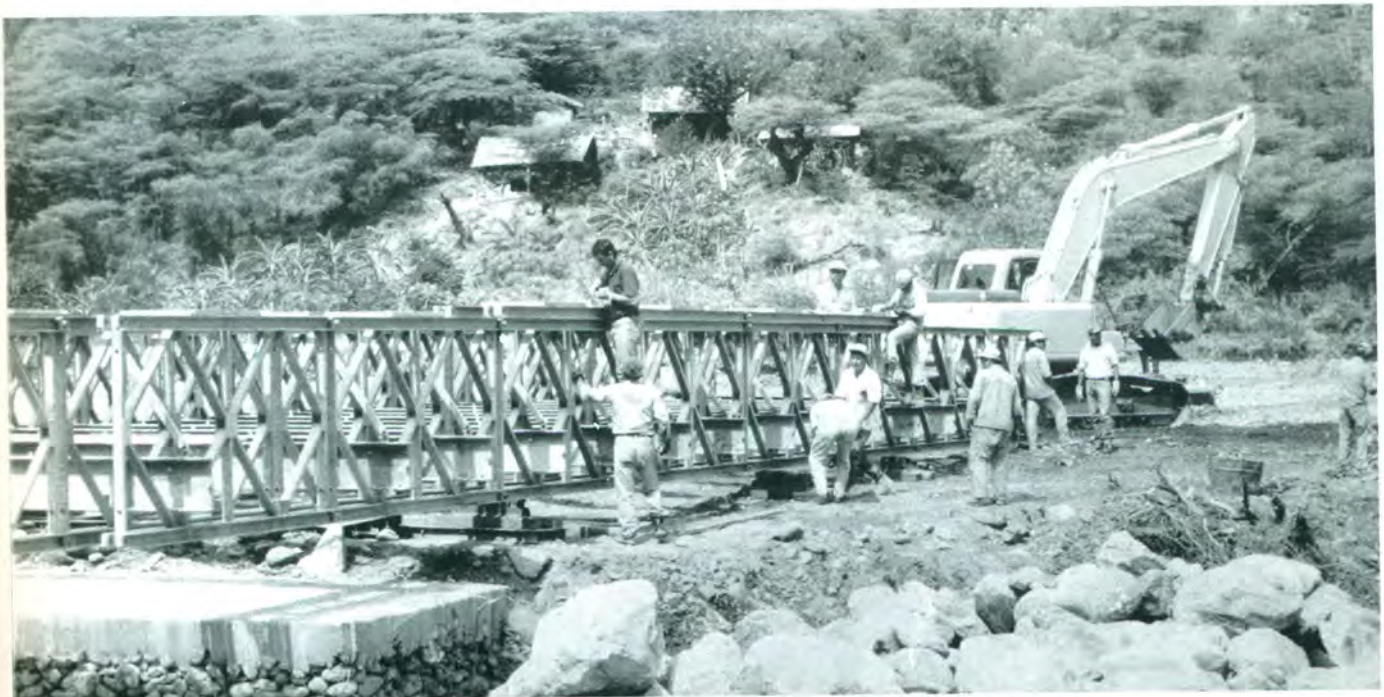
cial es de presupuesto. El país no ha atendido con los recursos financieros necesarios todo lo que a infraestructura vial compete; nunca se pensó que este asunto fuera tan importante como ahora se revela. Hoy nos encontramos con la internacionalización de la economía, con la apertura, y tenemos que uno de los puntos que estrangulan esa apertura son nuestras deficiencias en infraestructura vial; ¿a quién compete la planeación y la asignación de recursos en esta área? No a los ingenieros como tales. Ha habido algunos ingenieros en ejercicio político, como presidentes y ministros de hacienda, pero no han mirado el problema como era de esperar que lo hubieran hecho; por el contrario, somos testigos de que cada vez que se habla de recortes presupuestales, en primer término se disminuye la inversión en el Ministerio de Obras Públicas y Transporte y en instituciones similares. Recuerdo que en el gobierno del presidente Turbay Ayala se hizo el ‘Plan de Integración Nacional’ convocando a la ingeniería nacional como una herramienta necesaria y eficaz para poder

integrar el país a manera de reto; pero, como todo ahora, se nos volvió un ‘reto’ y no una responsabilidad.

“Venimos desde ese gobierno planteándolo así, dimensionándolo adecuadamente para el momento, pero los continuos cambios del gobierno han hecho que las firmas pierdan su inversión. Siempre que hemos tenido recortes en el presupuesto nacional, una de las áreas más afectadas ha sido la infraestructura vial; y ahora el diagnóstico es que el país tiene un retraso de 20 años. Esto significa que durante lustros hemos abandonado los ríos, los ferrocarriles, los puentes, las carreteras y que ahora estamos abandonando nuestra ingeniería”.

Continúa el Dr. Hernando Monroy:

“Se ha llegado a hablar de grandes inversiones a nivel local y nacional y de convocar firmas extranjeras, para que vengan a trabajar; pero ojalá se recuerden experiencias como las de Constructor, la firma yugoslava que ocasionó el desastre de Chingaza; y la de una firma brasileña cuyos puentes construidos están muy deteriorados; o la de Manesman, que les enseñó a los grupos alzados en armas



Obras de construcción del puente provisional de Pescadero, a cargo de la oficina de emergencias del I.N.V.



cómo las firmas de construcción podían ser un filón muy importante para obtener recursos”.

## EL PROCESO

“El móvil con que arrancó la infraestructura vial era la comunicación entre pueblos; las grandes distancias se cubrían con ríos y ferrocarriles —dice el Dr. Otoniel Fernández—. Después se

empezó a tratar de arreglar las carreteras en su diseño original, ampliándolas; luego vino la moda de las variantes. Todo esto siempre se hizo con pocos recursos; resultaba mejor arreglar lo que estaba hecho y no hacer nada nuevo. Llevamos cerca de 10 años haciendo ampliaciones y reparcheos, todo ello sobre carreteras construidas hace 50 años. Tenemos que ser realistas y

hacer un buen diseño lógico de lo que se pretende, que trace longitudinal y transversalmente a Colombia; esto se está haciendo ahora, cuando se piensa en las concesiones, como una solución definitiva y con criterios más lógicos. Debemos reconocer que en este gobierno, en el Invías, la contratación se está haciendo sobre la existencia de los recursos. Hace 10 años se firmaba el contrato y el presupuesto no alcanzaba ni para el anticipo”.

Para el Dr. Enrique Ramírez el problema actual se puede definir como de calidad y cantidad:

“En el aspecto cuantitativo es indiscutible que tenemos una extensión vial muy inferior a las necesidades y al potencial mismo de un país del tamaño de Colombia, que podría desarrollarse en mejores condiciones si expande su red vial.

“En el orden cualitativo se parte de la misma evolución del sistema vial colombiano. Se anotaba que teníamos una muy buena competencia a mediados de la década del 40 por el río Magdalena y el ferrocarril, que tuvo un impulso enorme desde el siglo pasado, hasta mediados de éste, hasta la construcción del ferrocarril de Magdalena.

“Las vías se empezaron a realizar en Colombia en serio a partir del primer programa del Banco Mundial en el año 50, como eco del plan Marshall que se desarrollaba en Europa. Conocimos las primeras firmas extranjeras en el país, como la Morrison que en realidad nos enseñó a hacer carreteras; la escuela de ingenieros constructores de la generación anterior se formó en ese proceso.

“Las carreteras de esa época que podemos mencionar brevemente, son:

— La conexión al Magdalena por Honda, y rectificación del camino de Villeta.

**Las comparaciones no son odiosas, son necesarias**

## TUBERIA DE CONCRETO TITAN

**la mejor selección**



Tubo rígido TITAN® de 60 cm. de diámetro por 2 m. de longitud, bajo carga de 11,5 toneladas, sin soporte lateral.

### 1. Más resistente

que cualquier otro producto en competencia. Fabricada con hormigón de 350 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 2. Mayor durabilidad y rigidez

Hormigón denso y homogéneo, que no sufre de acartonamiento ni degradación en sus propiedades mecánicas. Mantiene su circularidad en condiciones de trabajo.

### 3. Juntas estancas y flexibles

La fabricación en posición “campana abajo” asegura medidas exactas y el ajuste del empaque de caucho en la junta.

### 4. Mayor economía

Por su bajo costo inicial, su rendimiento hidráulico y su larga vida útil.

**Tubería sin refuerzo** en diámetros desde 15 cm. hasta 100 cm. según Norma ICONTEC 1022 (ASTM C14)

**Tubería reforzada** en diámetros desde 60 cm. hasta 130 cm. según Norma ICONTEC 401 (ASTM C76).



DEPARTAMENTO DE ASESORIA TECNICA Y VENTAS

Avenida Boyacá No. 83-74 Apartado Aéreo No. 3561 Bogotá D.E. Conmutador: 223 07 88



“— La carretera que unió a Fusagasugá con Melgar, por El Boquerón.

“— La del Chicamocha, con trazado hecho por la Morrison; allí aprendimos a construir con equipo pesado.

“La segunda cuestión —prosigue el Dr. Ramírez— que nos puede llevar al diagnóstico del problema es: ¿Cómo se ha desarrollado el sistema vial colombiano? Todos los sistemas viales del mundo se han desarrollado uniendo los polos; las carreteras son para unir la gente; para trasladar cosas que se mueven, como en hidráulica o electricidad, donde hay una diferencia de potencial; entonces se hace el camino a Tunja, porque de allá vino la libertad. Todos los caminos del mundo se han desarrollado bajo el mismo esquema de intereses económicos e intercambio. Lo importante en las carreteras es dar paso; y



Prueba de carga a la culminación del puente provisional a cargo de los funcionarios de la oficina de emergencias. Febrero 15/96.

lo que ha sucedido es un desarrollo de las carreteras por etapas: se rectificó el camino de herradura, se amplió un poquito, se mejoraron las especificaciones, se le echa una grava, y van mejorándose, haciéndose así las carreteras colombianas; cosa que no se puede hacer en ningún otro campo de la ingeniería. Si vamos a diseñar el tubo de Tibitó para traer el

agua a Bogotá, debe tener un diámetro, un espesor, unas condiciones de resistencia, los que son; o no se hace. Como siempre las carreteras se hacen por etapas, siempre quedamos debiendo un poquito; la mayoría de la inversión que se ha hecho en el país en los últimos 20 años es para rehabilitación de carreteras, para mejorar lo existente. Yo, como constructor, pro-



Puente de Pescadero colapso. Enero 7/96.



estructura básica de Colombia no llega ni siquiera al promedio de los países africanos, y solamente supera a la de Bolivia. ¿Por qué se llegó a esta situación? Yo creo que esa situación es el producto de 25 años, durante los cuales se han juntado muchos factores; obviamente, uno es el manejo de los recursos; probablemente los recursos viales no han sido suficientes para lograr un desarrollo adecuado. Por otro lado, una cosa que se identifica en el estudio que he realizado es la enorme variabilidad de los recursos viales; por ejemplo, se da el caso que de un año a otro los recursos se triplican, y dentro de un marco de esa naturaleza la incertidumbre de recursos hace muy difícil cualquier planeación.

“Pero no es únicamente un problema de recursos; creo que hay un problema sumamente grave en materia de eficiencia, y en esto el país no se puede permitir engaños. Yo creo que una causa importante del atraso en la infraestructura vial está en que las cosas salen valiendo más de lo que deben. Esto lo analizamos con mucho cuidado; en primer lugar encontramos que los recursos viales, de

testé en el Ministerio, ya que uno de los criterios era no moverse mucho de los lineamientos existentes para hacer las cosas al mínimo costo; y eso como política no estaba mal. Lo que sí estaba mal, y lo podemos corroborar con cifras, ha sido la escasez de recursos, que no resiste una comparación con inversiones de otros sectores y que denota la falta de una política consistente para la asignación de recursos a las carreteras.

“Colombia no es un país plano; su topografía, la localización de la producción y la población, nos imponen unas condiciones técnicas singulares; hacer carreteras en Colombia no es tarea fácil”.

### A MENOR TIEMPO - MENOR COSTO VS. $1 \times 1 = 3$

Para el Dr. Eduardo Sarmiento “la función de un investigador, cuando realiza un estudio, es esclarecer la verdad, así muchas veces esa verdad afecte intereses, o pueda interpretarse como una crítica que se hace a determinado grupo. En múltiples estudios, y esto no lo digo yo, lo dice el Banco Mundial, lo dice la Cepal, se calculan los kilómetros por habitante en Colombia y el resultado es que el país tiene ¡la peor infraestructura vial del mundo! Ése es el problema central; en eso fracasaron muchísimas instituciones y, obviamente, en primer lugar, el Gobierno. La infraes-



**ConConcreto S.A.**

**CONSTRUYENDO FUTURO CON SENTIDO HUMANO**

Medellín Cra. 42 No. 75-125 (Itagüí) Autopista Sur Conmutador: (94) 2812977

Santa Fe de Bogotá Cra. 6. No. 115 - 65 Of.: 308F Conmutador (91) 6202166

Cali Cra. 100 No. 16 -20 Edif. Av. 100 Conmutador (92) 3331222





acuerdo con información de fuentes nacionales altamente creíbles, crecen a razón de 5.2% por año mientras los índices de realizaciones crecen 1.7%, es decir la tercera parte; si el crecimiento de la red vial hubiera ido paralela al aumento de recursos del país, no tendríamos el atraso actual y estaríamos ubicados en el promedio de América Latina. Esto lo confirmamos luego con una muestra de 48 proyectos, junto con fuentes de estudio avaladas por el Banco Mundial.

“¿Cuál es el valor del proyecto inicial y cuánto sale valiendo? Tomando los proyectos, luego deflactando con los índices adecuados de precios, ¿qué encontramos? Que lo normal es que el presupuesto final de un proyecto sea tres veces mayor que el inicial, lo cual confirma las cifras generales. Estamos frente a una actividad en la cual podemos definir cuál es el presupuesto básico, cuáles son los adicionales, y lo cierto es que los presupuestos básicos resultan valiendo al final tres veces más; esto coincide con las cifras globales que dicen que los recursos crecen tres veces más que las realizaciones físicas. Ésa es la realidad del atraso, ése el problema que el país



tiene que resolver si quiere tener una buena infraestructura vial.

“Mientras que las obras valgan tres veces más de lo que se proyectan inicialmente, mientras las cosas se demoren tres veces más, obviamente no hay forma de resolver los atrasos viales, no hay forma de colocarnos en el promedio de América Latina; de manera que para mí ésa es la causa fundamental.

“¿Cuáles son las causas de esto?, ¿por qué estamos en el último lugar de infraestructura vial?, ¿por qué los proyectos resultan valiendo más de lo presupuestado inicialmente?; esta cuestión es muy compleja y polémica; creo que en este caso el país va a tener que precisar y definir responsabilidades, porque de otra manera no vamos a resolver el problema. No creo que ésta sea una situación que se pueda resolver diciendo que aquí no ha pasado nada, y que sigamos haciendo las cosas igual que en el pasado; aquí se requieren cambios fundamentales en los esquemas de los procedimientos que se utilizaron en el pasado.

Otoniel Fernández responde: “En Invías miramos cuál era el presupuesto inicial para la asignación de los recursos, y éste estuvo en los últimos 25 años entre 0.8 y 1% del PIB. Lo que se recomienda internacionalmente para un país como Colombia podría ser de entre 2 y 3% del PIB. Eso explica por qué tenemos un atraso acumulado de la infraestructura. Por otra parte, los recursos, insuficientes, no eran utilizados en forma óptima, y tenemos varias maneras de explicarlo: En primer lugar, porque los proyectos dependían fundamentalmente de lo que se asignaba en el presupuesto y, como lo asignado anualmente era una cifra muy limitada, las empresas constructoras no podían perder todo su potencial para ejecutar el proyecto; tenemos múltiples ejemplos que explican eso.

“Las obras dependían fundamentalmente del presupuesto anual y no existía una política consistente desde el

## CONSTRUCTORES CIVILES INGENIEROS LTDA C.C.I. Ltda.

- › OBRAS CIVILES
- › CARRETERAS
- › MONTAJES
- › ESTRUCTURAS
- › URBANISMO

Cra. 31 No. 95 - 99  
Tels.: 226 87 12 - 611 17 85  
Fax: (91) 618 17 05 Santafé de Bogotá



punto de vista vial para hacer el desarrollo del país. Con respecto a las anotaciones del Dr. Sarmiento sobre el costo triple de las mismas, preguntaría con relación a qué referente; si es al presupuesto básico, le respondería que está perfecto; si no, dicha afirmación pierde su peso y puedo decir por qué no está perfecto el presupuesto básico: Porque los recursos asignados para los estudios eran muy limitados, someros y superficiales, y el presupuesto básico era el presupuesto estimado. Realmente las obras tuvieron algún sobrecosto pero no de las magnitudes que expresa el Dr. Sarmiento”.

## DEFICIENCIA EN ESTUDIOS

Afirma el Dr. Alfredo Santander que “cuando se empieza un proyecto con estudios deficientes, sobre todo en vías, es obvio que a medida que se va conociendo el problema van incrementándose unas cantidades importantes no tenidas en cuenta por razón de estudios deficientes. Si los recursos para estudios hubieran sido suficientes, los naturales que exige la ingeniería para un buen proyecto, seguramente el presumpues-

to de la licitación no habría sido uno o más veces inferior al presupuesto real. No es tan simplista comparar el presupuesto básico con el final del proyecto; el problema tiene muchas complicaciones. Una de éstas es desglosar qué cantidades se previeron en el proyecto y cuáles se hicieron; más que en el precio final del proyecto, debemos pensar en cantidades de obras ejecutadas, y si se triplicó el proyecto, me preocuparía; pero si se sobrepasa dos o tres veces la cantidad de obra proyectada sería el resultado obvio de la afirmación del Dr. Otoniel Fernández”.

El periodista de *El Tiempo* consulta si cambiarán las prácticas de diseño y contratación de la infraestructura vial. Responde el Dr. Carrillo que hoy se garantiza que la plata se tenga a futuro. “Antes, con cualquier centavo se iniciaban y hasta concluían las obras; hoy no, porque su diseño y demás implementos han cambiado. Es importante tener en cuenta variables como Diseño fase 3 y Diseño estimado, para empezar por eliminar aquello que no hace parte del real estudio”.



Puente Samaná - Primer semestre de 1995.

## ¿TENEMOS CARRETERAS NUEVAS EN COLOMBIA?

Responden los especialistas que son escasas. Puerto Triunfo-Medellín, la conexión Bucaramanga-San Alberto, Pitalito-Mocoa, Magdalena Medio y la Marginal de los Llanos, casi todas inconclusas; de manera que aparte de 1.500 Km de rehabilitación, pavimentación y ampliaciones que están en desarrollo por etapas, no tenemos un panorama completo. Sobre presupuestos vamos hacia mejoras en la medida en que la Ley 80 no deja contratar sin asignación del presupuesto y sin estudios completos y que la misma cuenta presupuestal evita los rezagos.

Señala el Dr. Eduardo Sarmiento que la primera causa de la crítica infraestructura vial colombiana es la deficiencia de los estudios. “Me preguntan si es problema de ingenieros y respondo que no; ocurre que no tienen los recursos para elaborar los diseños adecuados. En Colombia los estudios representan el 1% del valor de los proyectos; Estados Unidos y Argentina tienen 3% y otros países desarrollados 6%. Por ahorrarnos 5 puntos porcentuales estamos teniendo sobrecostos o incertidumbre de 200%. Aprendí como ingeniero y economista que siempre debemos buscar la solución óptima al menor costo. Es posible que los sobrecostos sean por obras adicionales, pero tenemos una práctica alarmante, desajustada y carente de planeación”.

El Dr. Álvaro González afirma que las causas del problema radican en la calidad de los estudios, y que falta planeación del Gobierno en sus diferentes institutos y ministerios. “La política no puede ser arrancar un proyecto con estudios insuficientes y mal diseñados. En muchas ocasiones se ha tenido que rediseñar, lo cual ha causado sobrecostos increíbles. Si la política se basa en que los estudios



son fundamentales y se tienen los presupuestos adecuados, resolveremos problemas de sobrecostos que algunas veces son ajenos a la parte técnica; son debidos a los malos diseños de las obras y la consecuencia es que los presupuestos iniciales son distintos de los finales.

### ¿SÍNDROME DE POBRECÍA?

“Aunque es un término no muy castizo, en Colombia sufrimos *síndrome de pobreza*, —dice el Presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros—. Cuando hay plata no se hacen diseños; cuando por algun mecanismo se consiguen los recursos rápidamente, pretendemos suplir deficiencias in-

virtiendo en diseño y construcción y el gobernante de turno quiere dejar las obras ejecutadas e inauguradas muy forzosamente, con estudios incompletos, para poder figurar en los libros de la historia.

“Mirando otra variable de la crisis vial, tenemos que el parque automotor de 1973 era de menos de 500.000 vehículos y en 1994 era de 2'000.000. En 1983 había 800 tractomulas y en el 94, 11.000. Su efecto sobre la estructura de carreteras y puentes, en los que se pasó de 35 a 40 toneladas de capacidad portante para diseño, y se tienen autorizadas 52 toneladas pero están pasando 75, es una realidad técnica inobjetable. Lo milagroso es que puentes construidos hace treinta años no se hayan caído todos; y en cuanto a los pavimentos, ocurre lo mismo”.

El debate dio lugar a varias conclusiones finales. Se estableció la ne-

cesidad de un cambio de modelo de desarrollo que permita una continuidad frente a los cambios de gobierno y que, en el caso actual, el pacto social se adecúe a los planes de inversión. De otra parte consideró primordial la constitución de una póliza de diseño, de riesgos, y que la planeación se haga a largo plazo para que no fluctúe con los intereses del gobierno de turno. Se planteó también la interventoría manejada por empresas especializadas de ingenieros y que su destinación presupuestal pase del 1% al 6% para tener resultados confiables y sin sobrecostos en el proyecto.

El Dr. Eduardo Sarmiento reitera como alternativa concreta de solución la creación de un organismo independiente: Junta Administradora de Proyectos, orientada a garantizar la programación y ejecución adecuada de los proyectos

## CONCRELAB<sup>LTDA.</sup>

LABORATORIO DE CONCRETOS SUELOS Y PAVIMENTOS

### PRACTICAMOS ENSAYOS DE:

- |                                                |                                               |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <input type="radio"/> Hormigón y agregados     | <input type="radio"/> Marshall, Hubbard Field |
| <input type="radio"/> Cementos                 | <input type="radio"/> Compresión simple, CBR  |
| <input type="radio"/> Compactación Proctor     | <input type="radio"/> Ensayos de morteros     |
| <input type="radio"/> Densidades en el terreno | <input type="radio"/> Ultrasonido             |
| <input type="radio"/> Mezclas bituminosas      | <input type="radio"/> Pruebas de carga        |

**CONSTRUCCION Y VENTA DE EQUIPO PARA CONTROL DE CALIDAD  
CUARTOS HUMEDOS CON ENERGIA SOLAR PARA CURADO DE HORMIGON**

Calle 60A N° 70-36

Teléfonos y Fax: 251 3701 - 223 5656 - 276 2014 - 436 1637 - 436 4506 - 430 5840  
Santafé de Bogotá, D.C. - Colombia

## Hormigón

Ing. Ramiro Cabal Sanclemente

Ingeniero Civil, Universidad Nacional; director del Laboratorio de Ensayo de Materiales y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### CORRECCIÓN DE LA MEZCLA POR HUMEDAD

Operación de especial importancia en el proceso de diseño, conducente a la dosificación para una determinada unidad de volumen ( $1 \text{ m}^3$ ), es la ejecución de una mezcla pequeña, la denominada "mezcla de prueba" que una vez sometida a los ajustes necesarios debe dejar al diseñador la certeza (que se confirmará con resultados de ensayos), de haber logrado armonizar factores tales como consistencia y manejabilidad, proporción adecuada de finos (arena), uso de aditivos, porcentaje de aire, etc., con sus propiedades mecánicas (resistencia), sin descuidar, por supuesto, el aspecto económico.

Y en la ejecución de la mezcla de prueba, de la cual se toman muestras para ensayos de resistencia a compresión, principalmente a 3, 7 y 28 días, es fundamental el cálculo de la "corrección por humedad", mediante la cual se traduce a la realidad el estado de humedad de unos agregados que, hasta el momento, habían sido considerados en una condición teórica, tal como el estado seco, o el estado que se conoce con el nombre de estado saturado-seco.

Por ser parcos en estos detalles los textos sobre la materia, he pensado que puede ser de utilidad el presente trabajo, dedicado a los jóvenes estudiantes de Ingeniería Civil de las universidades colombianas adonde pueda llegar este ejemplar de la Revista.

### EL DISEÑO

Pero antes de ocuparnos propiamente de la operación en cuestión, conviene tener una visión general previa de lo que significa el diseño de una mezcla. En realidad se trata de considerar en el futuro material, hormigón, el efecto de cuatro componentes principales, cada uno de los cuales tiene su propia variabilidad, aunque no hasta el punto de suponerlos como incógnitas de un problema indeterminado, ya que gracias a ensayos de laboratorio practicados con antelación, es posible conocer sus características sobre calidad y tomar decisiones acerca del sistema de diseño.

Tales ensayos son, para el cemento: densidad, finura, fraguado, resistencia a compresión de cubos de mortero a 3, a 7 y a 28 días; y en algunos casos, expansión en auto-clave.

Para los agregados: análisis granulométrico, con determinación de módulo de finura y tamaño máximo; materia orgánica; pesos unitarios, densidades y absorción. En algunos casos desgaste y sanidad o integridad.

Para el agua: ensayos comparativos de resistencia a compresión de cubos con agua de reconocida calidad que se toma como referencia, o análisis químico, en el caso de llegarse a tener sospechas de ella por su diferente olor, color o sabor, respecto de las características del agua potable, que en general se considera apta para mezclas.

### LA CANTIDAD DE AGUA

¿De qué factores depende la cantidad de agua que debe utilizarse para obtener  $1 \text{ m}^3$  de mezcla? En primer lugar, de la naturaleza de los agregados, que pueden ser gravas y gravillas, es decir, materiales de formas redondeadas y superficie lisa, o pueden provenir de trituración de rocas (triturados) y tener formas aproximadamente cúbicas y superficie rugosa. En este último caso, la necesidad de agua es un poco mayor para obtener determinada manejabilidad. En general, puede decirse que las resistencias con uno y otro tipo de agregado tienden a ser iguales para un mismo contenido de cemento, no importa que sean un poco diferentes las relaciones A/C.

En segundo lugar, dependerá del tamaño máximo del agregado grueso, factor que está en relación inversa de la superficie específica del mismo, lo que equivale a decir que es un determinante de la efectividad del elemento ligante de la mezcla, la pasta de cemento y agua. Ese tamaño máximo del agregado grueso deberá fijarse con base en dimensiones mínimas de formaletas ( $1/5$  máx.) y en la distancia libre entre hierros de refuerzo ( $3/4$  máx.).

Dependerá, en tercer lugar, de la manejabilidad que deba tener la mezcla según su destino. Será mínima, por ejemplo, en el caso de pavimentos; será máxima cuando la colocación se vaya a hacer por el sistema de bombeo. Entre estos dos extremos figurarán las mezclas corrientes para estructuras, con asentamientos entre 3" y 4" (7.5 a 10 cm), que se consolidan con el uso de vibradores de inmersión.

Además, se considera en el estudio preliminar, mediante tablas y grá-

ficos, la variación que puede sufrir la cantidad de agua en el caso de que en la mezcla se haya previsto o no el uso del aire incorporado, como especificación en relación con la durabilidad y el mejor comportamiento de estructuras que vayan a estar sometidas a condiciones ambientales (climáticas) o a condiciones de trabajo fuera de lo común, como es el caso de llegarse a detectar la presencia de sulfatos u otras sustancias perjudiciales en aguas o en suelos con los cuales vayan a estar en contacto (estribos de puentes, tuberías, canales, túneles), presencia que, de sobrepasar cierto límite, hace ya indispensable el uso de un cemento especial como el Portland tipo V.

Definida también la relación Agua Cemento (A/C), en función de estas mismas variables, por escogimiento del menor valor resultante entre los dos que convienen al analizar independientemente su valor desde el punto de vista de la resistencia y desde el punto de vista de las condiciones de trabajo y de exposición, se calculará la cuantía de cemento, en Kg, como cociente de los valores agua en litros (Kg) y relación A/C, en peso.

## LA MEZCLA DE PRUEBA

Se llega en el siguiente paso, a la dosificación para el m<sup>3</sup>, de los restantes componentes, según lo aconsejen circunstancias especiales del caso y experiencia del diseñador

(método de la relación b/b<sub>0</sub>, curvas de Fuller y Bolomey, tablas, gráficos), de la cual se deducirá la magnitud de la mezcla de ensayo o mezcla de prueba.

Hemos encontrado que una mezcla de prueba de 20 litros puede ser ejecutada cómodamente por un par de operarios y permite tomar 9 cilindros de  $\phi$  10 x 20 cm para ensayos de compresión a 3, 7 y 28 días (3 para cada edad).

## LOS ESTADOS DE HUMEDAD

He aquí los diferentes estados que puede presentar un agregado, en relación con el agua absorbida. Si hacemos que una sola partícula represente a todo un agregado, éstos pueden ser:

### 1. Estado seco, con humedad cero

Se obtiene únicamente cuando la muestra ha permanecido en el horno unas cuantas horas a temperatura de 110 °C y dos pesadas consecutivas no muestran diferencia. Si el agregado se lleva en este estado a la mezcla, al agua que resulte en la dosificación habrá que adicionarle la cantidad que el agregado absorberá hasta saturarse completamente. El agua absorbida no toma parte en la reacción de hidratación del cemento.



### 2. Estado parcialmente húmedo

El agregado contiene humedad, pero no toda la que necesita para saturarse, es decir, su porcentaje de humedad es inferior al porcentaje de absorción, que ya debe conocerse como dato de laboratorio. También en estos casos, al agua calculada habrá que adicionarle la cantidad de agua que le falta para acabar de saturarse.





# Ferreteria

PEGASO'S 170 LTDA

CEMENTO  
GRAVILLA  
ARENA  
BLOQUE  
HIERRO

FERRETERIA EN GENERAL

Autopista Norte 167 A - 55  
Tels: 6705041- 6741162  
Fax: 6717232

*Las resistencias con uno y otro tipo de agregado tienden a ser iguales para un mismo contenido de cemento, no importa que sean un poco diferentes las relaciones A/C*

### 3. Estado saturado-seco

El agregado ha absorbido toda el agua que es capaz de absorber. Su porcentaje de humedad es igual al porcentaje de absorción. Está saturado interiormente, pero seco superficialmente; de ahí su nombre. Si el agregado está así en la mezcla, no habrá necesidad de adicionarle nada al agua calculada.



### 4. El estado húmedo

El agregado está saturado y además hay humedad por fuera de las partículas. Es la que ocupa los espacios entre partículas y recibe el nombre de humedad libre o superficial; es agua que ya está presente en la mezcla aportada por el agregado y que, por consiguiente, debe ser restada del agua calculada, para tener el agua que debe agregarse. Es agua que sí interviene en la reacción de hidratación.



Entonces, sea cual fuere el caso, será variable la cantidad de agua agregada a la mezcla, con el objeto de cumplir con la cifra del agua total calculada. Si ésta no se cumple o si la observación de la mezcla de prueba hace aconsejable alguna modificación a buen criterio del diseñador, se entrará en la etapa de los ajustes, que no es tema del presente artículo.

Pero no solamente ha de variar el agua que se agrega a la mezcla. También los agregados variarán, no su masa, pero sí su peso, puesto que al pesar, por ejemplo, la cantidad de arena que vaya a la mezcla, estamos pesando el agregado propiamente dicho, arena, junto con el agua

que tiene absorbida y la que está ocupando los espacios entre las partículas.

### LA HUMEDAD TOTAL

Toda determinación de humedad debe calcularse siempre en relación con el peso seco del material. Poco antes de la ejecución de la mezcla de prueba deberá tomarse una muestra de cada agregado, pesarse y colocarse en el horno a 110 °C todo el tiempo que sea necesario para que pierda su humedad y quede completamente seca. Se pesa nuevamente y se calcula su estado de humedad o humedad total, así:

$$\frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca}} \times 100$$

La comparación de este porcentaje con el de absorción, que ya debe conocerse como dato de laboratorio, revelará inmediatamente en cuál de los cuatro estados se encuentra cada agregado.

### APLICACIÓN

Si partimos de la dosificación de la mezcla de prueba, en la cual figuran los agregados en estado saturado-seco, que es lo más lógico y llamamos A al porcentaje de absorción, hallaremos el peso del agregado seco dividiendo por

$$1 + \frac{A}{100}$$

y si llamamos T al porcentaje de humedad total, llegaremos a tener el peso del agregado para cualquier valor de T, multiplicando el peso seco por

$$1 + \frac{T}{100}$$



CUBIDES MUÑOZ LTDA.  
Ingenieros Constructores  
S.C.I. A.C.I.C.

Cra. 13A No. 91-26  
Tels. 236-0261 • 236-0285  
Fax. 218-7042  
Santafé de Bogota D.C.

con lo cual obtenemos la cantidad de agregado que debe ir a la mezcla en la condición de humedad real T.

Para mayor exactitud, conviene que las dos operaciones se hagan como una sola, es decir, en forma continua, sin hacer aproximaciones parciales.

Veamos un par de ejemplos:

En el primero, ambos agregados tienen humedad superior a la absorción, es decir, humedad libre que aportan a la mezcla.

En el segundo, uno de los agregados aporta agua, en tanto que el otro tiene una humedad inferior a la absorción,

o sea que para saturarse absorberá agua de la mezcla.

Sea la siguiente mezcla de prueba:

|                       |                 |
|-----------------------|-----------------|
| Cemento               | 7.84 Kg         |
| Arena sat.-seca       | 14.53           |
| Agr.-grueso sat.-seco | 20.08           |
| Agua                  | 3.76 l          |
|                       | <u>46.21 Kg</u> |

Hemos encontrado muy práctica la siguiente disposición de datos, que los ofrece todos a la vista:

**Ejemplo 1:** Arena, absorción 1.62%; humedad total 3.56%; agregado grueso, absorción 1.04%; humedad total 1.27%.

| Humedades       | H. Total | Absorción | H. Libre |
|-----------------|----------|-----------|----------|
| Arena           | 3.56%    | 1.62%     | +        |
| Agregado grueso | 1.27%    | 1.04%     | +        |

| Correcciones    | Peso seco | Peso sat-seco | con humedad | H. libre            |
|-----------------|-----------|---------------|-------------|---------------------|
| Arena           | 14.30     | 14.53         | 14.81       | 0.28                |
| Agregado grueso | 19.87     | 20.08         | 20.13       | <u>0.05</u><br>0.33 |

### MEZCLA CORREGIDA

|                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| Cemento                       | 7.84 Kg                |
| Arena con humedad real        | 14.81                  |
| Agregado gr. con humedad real | 120.13                 |
| Agua que debe agregarse       | $3.76 - 0.33 = 3.43$ l |

**Ejemplo 2:** Arena, humedad total 2.15%; Agregado grueso, H. total 0.10%

| Humedades       | H. Total | Absorción | H. Libre |
|-----------------|----------|-----------|----------|
| Arena           | 2.15%    | 1.62%     | +        |
| Agregado grueso | 2.10%    | 1.04%     | -        |

| Correcciones    | Peso seco | Peso sat-seco | con humedad | H. libre              |
|-----------------|-----------|---------------|-------------|-----------------------|
| Arena           | 14.30     | 14.53         | 14.61       | 0.08                  |
| Agregado grueso | 19.87     | 20.08         | 19.89       | <u>-0.19</u><br>-0.11 |

### MEZCLA CORREGIDA

|                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| Cemento                       | 7.84 Kg                |
| Arena con humedad real        | 14.61                  |
| Agregado gr. con humedad real | 19.89                  |
| Agua que debe agregarse       | $3.76 + 0.11 = 3.87$ l |



## TECNITELEFONIA

SISTEMAS TELEFONICOS, VENTA,  
SERVICIO Y MANTENIMIENTO

# Panasonic

Carrera 10a. No. 61-51 Of. 201  
Tels.: 211-8760 • 210-4874  
Fax: (91) 211-8760  
Santafé de Bogotá, D.C.

- ▶ Suministramos todo tipo de centrales telefónicas desde 2 líneas hasta centrales de 1024 puertos.
- ▶ Hacemos su cableado estructurado con las mejores marcas del mercado
- ▶ SIEMON, PANDUIT las mejores U.P.S. - A.P.C.

# Cronología de la matemática

## 4a. Parte

Ing. Gerardo Prado Bravo

Ingeniero Civil, Universidad del Cauca; especializado en Telecomunicaciones; ha sido profesor en las Universidades del Cauca, Javeriana, "Tadeo Lozano", "Santo Tomás" y la Gran Colombia. Desde 1990 está vinculado a la Escuela Colombiana de Ingeniería.

### 430 AC

Hipócrates de Quío: matemático de influencia pitagórica y contemporáneo de Hipócrates de Cos, padre de la medicina. Escribió unos *Elementos de geometría* siglo y medio antes de la obra de Euclides.

Algunos autores atribuyen a Hipócrates el teorema de que la relación de las áreas de dos segmentos circulares semejantes es igual a la relación de los cuadrados de sus bases, y parece que fue el primero en demostrar que las áreas de dos círculos son entre sí como los cuadrados de sus diámetros. Estas proposiciones conllevan las primeras medicio-

nes precisas de figuras curvilíneas en el mundo antiguo.

Hipócrates también demostró que las áreas de dos círculos son proporcionales a las áreas de sus cuadrados circunscritos, e hizo también investigaciones sobre la duplicación del cubo utilizando elementos distintos de la regla y el compás.

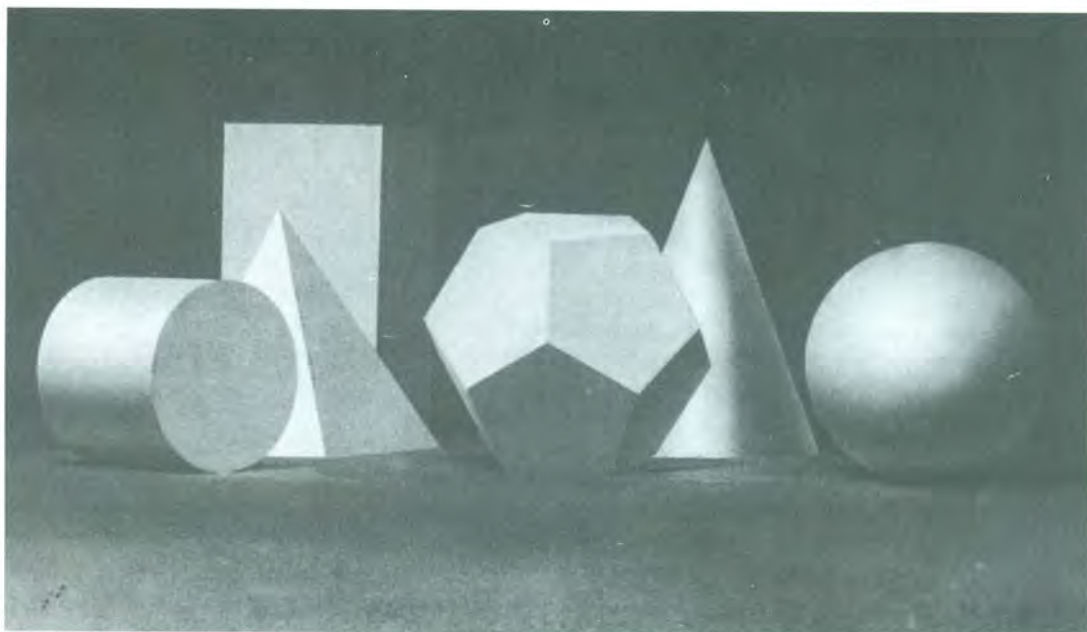
En sus investigaciones sobre la cuadratura del círculo, Hipócrates estudió la cuadratura de la lúnula, figura plana limitada por arcos circulares de distinto radio; con los teoremas de Pitágoras y de los segmentos halló la cuadratura de algunas lúnulas, o sea cuadrados de áreas iguales a las de esas figuras.

### 420 AC

Demócrito de Abdera (460-370 AC). Se considera el fundador de la teoría atómica de la materia, idea posiblemente inspirada en el atomismo pitagórico del espacio y del tiempo. Fue el precursor de las teorías infinitesimales que son la base del análisis matemático desarrollado plenamente en el siglo XVII.

Demócrito demostró —aunque no rigurosamente— que el volumen de la pirámide es un tercio de la base por la altura, y se cree que supo descomponer un prisma recto de base triangular en tres pirámides de volumen equivalente. Según afirma Arquímedes —que vivió dos siglos más tarde— Demócrito demostró que el volumen de un cono es un tercio del volumen del cilindro circunscrito.

Demócrito solucionó algunas ecuaciones de 1º y 2º grados por métodos geométricos y utilizando sólo regla y compás.



Los antiguos griegos iniciaron formalmente el estudio de los poliedros regulares y de los cuerpos redondos.



## 400 AC

Arquitas de Tarento (428-365 AC). De influencia pitagórica, profundizó en el estudio de las relaciones entre música y matemáticas iniciado por Pitágoras. Consideró que la matemática está formada por cuatro partes: aritmética (números en reposo), geometría (magnitudes en reposo), música (números en movimiento) y astronomía (magnitudes en movimiento).

Arquitas consideró que sólo la aritmética —no la geometría— daba demostraciones satisfactorias. Logró una solución tridimensional de la duplicación del cubo intersectando un cilindro circular recto, un cono y un toro, para insertar dos medias en proporción continua.

En la época de Arquitas se definieron las siete artes liberales de la antigüedad: aritmética, geometría, música, astronomía, gramática, retórica y dialéctica.

Durante esta época helénica se utilizó el llamado sistema de numeración ática o herodiana, basado en una escala iterativa de base 10, usando las letras mayúsculas del alfabeto griego. Las minúsculas se inventaron mucho después.

## 380 AC

Platón de Atenas (428-347 AC). Fue uno de los más grandes filósofos del mundo antiguo. Visitó a Arquitas cuando éste vivía en Sicilia y allí tuvo noticia de los poliedros regulares; se cree que desde entonces se interesó por la matemática.

Los descubrimientos de Zenón sobre los números irracionales, su amistad con Arquitas y lo que aprendió además con Teodoro y Teeteto, hicieron meditar a Platón acerca de la victoria de la razón sobre los resultados de la experiencia. Todo esto le produjo tanto entusiasmo que creyó firmemente que la matemática podía desarrollarse sólo con base en el pensamiento puro, y llegó a afirmar que los juicios geométricos son eternos.

Platón consideró que las actividades manuales y los estudios que exigían experimentación eran indignos del hombre de bien. Como su posición social se lo permitía, vivió aislado del mundo en sus jardines de Academia adonde prohibió la entrada a todo aquél que no supiera geometría. La Academia de Platón se convirtió en el centro matemático del mundo helénico y aunque aquél no fue estrictamente un matemático; sí fue inspirador y promotor de varios y muy notables matemáticos de entonces.

Teodoro de Cirene (norafricano) demostró la irracionalidad de las raíces cuadradas de varios números, tales como 3, 5, 7, 8, etc.

La escuela platónica profundizó en el estudio de los cinco poliedros regulares y Empédocles asoció los cuatro elementos conocidos con cuatro de ellos: el fuego con el tetraedro, la tierra con el hexaedro, el aire con el octaedro y el agua con el icosaedro. Platón consideró el dodecaedro como el símbolo del universo y afirmó que “Dios lo usó para todo”.



Platón y Aristóteles en el cuadro de Rafael “Escuela de Atenas”.

Platón estableció la distinción entre la aritmética como teoría de números y la logística como técnica de cálculo, e insistió mucho en que el conocimiento de la matemática era parte esencial del currículo necesario para la educación del hombre de Estado.

Platón añadió a las siete artes liberales definidas en la época de Arquitas, la Estereometría o geometría de los sólidos. Hizo énfasis en que los razonamientos que hacemos en Geometría no se refieren a las figuras visibles que dibujamos sino a las ideas absolutas que ellas representan. Con la escuela platónica se inicia el concepto de “continuidad” ya que para ella el punto al desplazarse forma una línea, mientras que para la escuela pitagórica el punto era una unidad aislada dotada de posición.

Platón formalizó el método analítico de demostración: si se quiere demostrar un teorema, a veces conviene deducir primero una conclusión de aquél, que sabemos se verifica, y luego se invierte el proceso. En esta forma la secuencia de la demostración se orienta mejor y se hace más corta.

## 350 AC

Teeteto —amigo de Platón y discípulo de Teodoro— profundizó en el estudio de los poliedros regulares y a él se debe la demostración de que sólo hay cinco. Calculó para

cada poliedro la relación entre la arista y el radio de la esfera circunscrita. Aristóteles de Estagira (384-322AC). Discípulo de Platón y quizá el más grande filósofo del mundo antiguo. Aunque tenía conocimientos matemáticos se dedicó principalmente a la biología. Fue tutor de Alejandro Magno varios años.

Aristóteles desarrolló la conocida lógica aristotélica, basada en los tres principios siguientes:

- Toda proposición es equivalente a sí misma.
- Cualquier proposición no puede ser verdadera y falsa.
- Toda proposición es o verdadera o falsa (ley del medio excluido).

Además de ser el fundamento de las modernas técnicas digitales, esta lógica bivalente se utiliza extensamente en matemáticas, aunque no es aplicable cuando las alternativas son más de dos, en cuyo caso hay que usar las lógicas polivalentes desarrolladas a principios del siglo xx.

Menecmo de Misia —profesor de Alejandro Magno—, tratando de resolver el problema de la duplicación del cubo cortando en varias formas un cono circular recto, descubrió las curvas cónicas elipse, parábola e hipérbola y estudió algunas de sus propiedades.

Dinostrato de Misia, hermano de Menecmo, utilizó algunas propiedades de la trisectriz de Hippias —usada para trisectar un ángulo— para lograr la cuadratura del círculo. Desde entonces dicha curva se llama también cuadratriz.

Eudemo escribe una historia de la geometría y Aristóteles, una biografía de Pitágoras —según la tradición—, pero ambas se perdieron.

### 340AC

Eudoxio de Cnido (408-355 AC). Miembro de la Escuela Platónica y considerado el más grande matemático y astrónomo prealejandrino inició formalmente la teoría de las proporciones y de los números irracionales, adelantándose en este último campo 23 siglos.

A Eudoxio se le puede considerar el padre del cálculo integral, ya que para demostrar teoremas sobre áreas y volúmenes de figuras curvilíneas utilizó con éxito el método que hoy llamamos *exhaustión*.

Eudoxio demostró rigurosamente que el volumen de un cono es un tercio del volumen del cilindro que tenga la misma base y la igual altura.

Algunos autores creen que fue Eudoxio y no Hipócrates el que demostró —utilizando la teoría de pro-

porciones y el método de la exhaustión— que las áreas de dos círculos son entre sí como los cuadrados de sus diámetros.

A Eudoxio se le considera el creador de la astronomía científica y fue el primero que midió la circunferencia terrestre. Determinó, posiblemente con base en informes egipcios, que el año tiene 365 días y 6 horas. El valor calculado en nuestros días es 365 días, 5 horas, 48 minutos y 47 segundos.

### 335AC

Autólico de Pitania escribió la obra *Sobre la esfera en movimiento* que es el tratado matemático griego más antiguo que ha sobrevivido. Este libro contiene algunos teoremas sobre geometría esférica, o sea que es el primero en mencionar conceptos sobre una geometría no euclídea, desarrollada formalmente 22 siglos después. Su obra se aplicó mucho en astronomía.

### 332AC

Alejandro Magno, de Macedonia, funda la ciudad de Alejandría en el norte de Egipto, que en pocos años se convertiría en el más importante centro científico del mundo antiguo.

(Esta cronología continuará en la siguiente edición de la revista) ↵

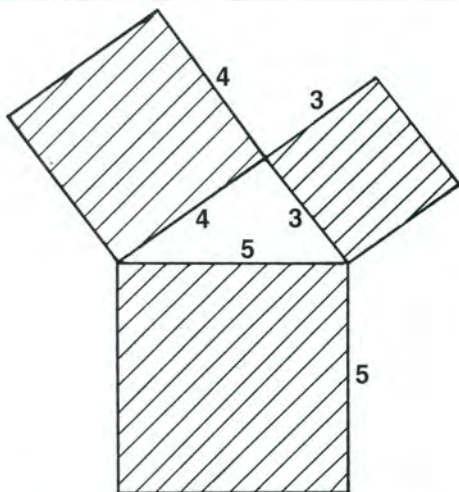
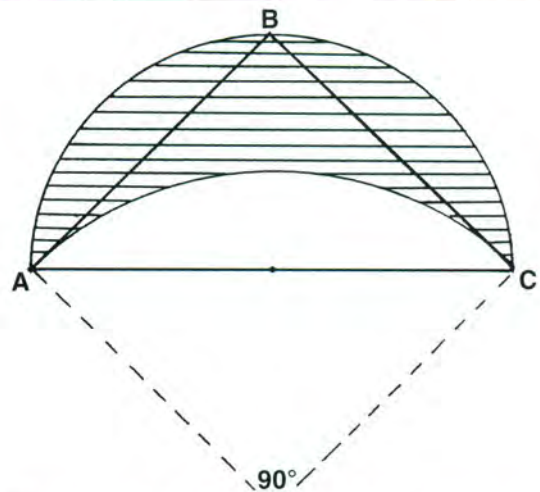


Ilustración del Teorema de Pitágoras:

$$3^2 + 4^2 = 5^2$$

$$9 + 16 = 25$$



Hipócrates “cuadró” la luna, demostrando que el área sombreada es equivalente al área del triángulo ABC.