

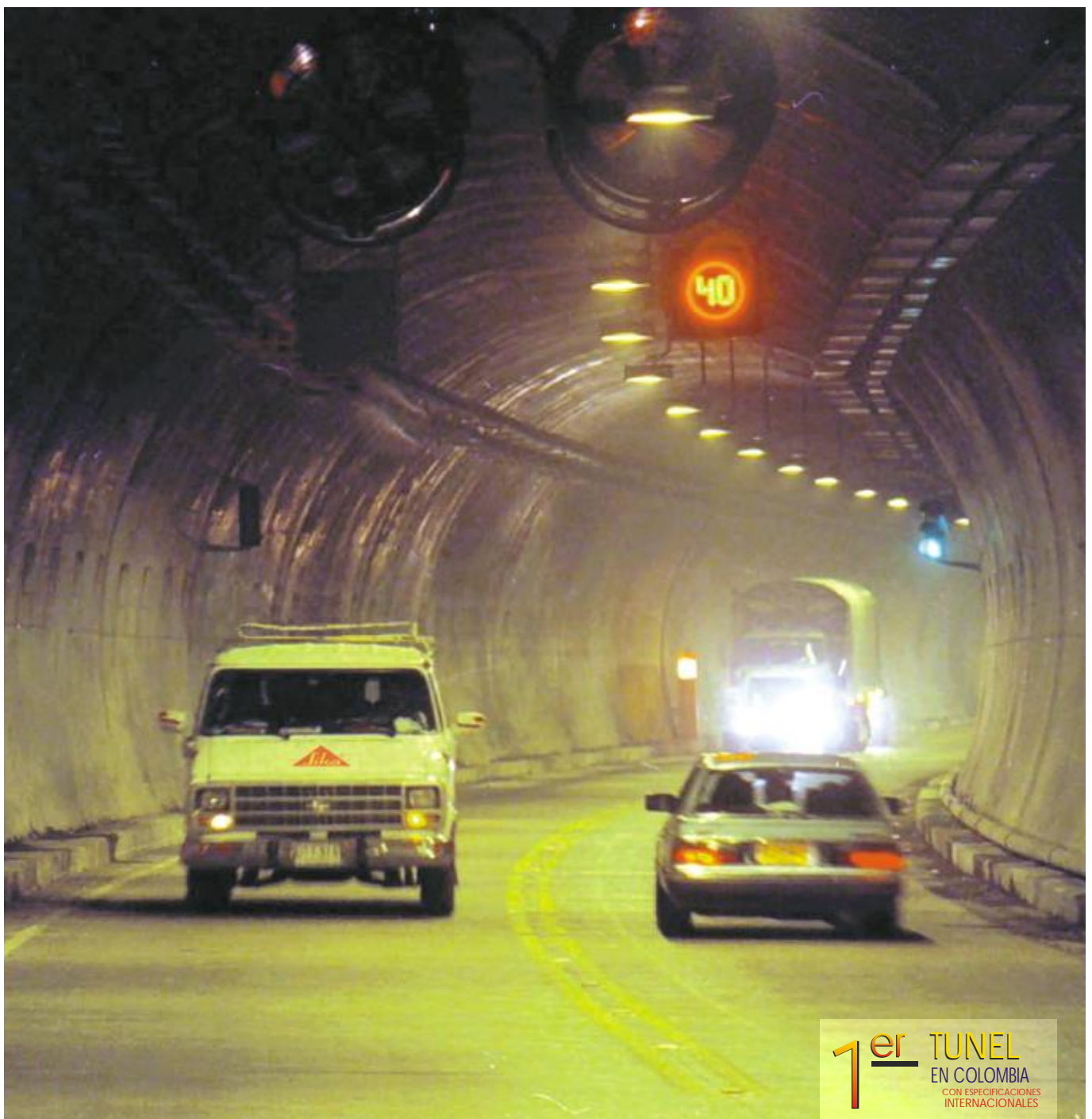
# SikaNoticias

DCT-SN-50-01-2000



Plastiment®RMX • Plastiment®BV-40  
Sigunit®L-22 • SikaRapid®1 • Sika®Rod  
Sikament®HE-200 • Sikament®-NS  
Sika-Aer®D • Sikaflex®-1CSL • Sikaflex®-T68 W

## Túnel El Boquerón Carretera Bogotá - Villavicencio Colombia



**1er** TUNEL  
EN COLOMBIA  
CON ESPECIFICACIONES  
INTERNACIONALES

## TABLA DE CONTENIDO

1. Historia de los túneles
2. Carretera Bogotá- Villavicencio
3. Proyecto actual
4. Túnel del Boquerón
5. Concreto lanzado
6. Concretos convencionales
7. Concretos para revestimiento definitivo
8. Volúmenes de obra representativos
9. Pavimento rígido del túnel
10. Reconocimientos
11. Productos requeridos más representativos

Fotografía carátula e infografías de las páginas 2 y 3  
Cortesía de la casa editorial El Tiempo.

# TUNEL DEL BOQUERON

## Carretera Bogotá - Villavicencio

### 1. HISTORIA DE LOS TUNELES

El primer ejercicio de ingeniería llevado a cabo por el hombre primitivo fué la perforación de túneles, cuando este se vió en la necesidad de ampliar el espacio de las cavernas que le daban abrigo. Al ejecutar estos trabajos el hombre encuentra, en forma accidental agua y yacimientos de minerales lo que lo inducen a perforar en su búsqueda. Por esta razón se puede decir que el arte de los túneles tiene sus orígenes en la minería, si bien sus propósitos son distintos e incluso contrapuestos. En un túnel se valora el recinto que crea y desprecia el material que extrae. En una mina se desprecia el recinto y valora el material extraído.

En la era moderna y de la mano del desarrollo de los ferrocarriles se produce un importante avance en la construcción de túneles. Adicionalmente se empiezan a utilizar máquinas y nuevos sistemas constructivos que reemplazan el trabajo manual y aceleran el proceso.

En la segunda mitad del siglo XIX se produce un avance impresionante con la construcción de los grandes túneles alpinos ferroviarios, como el Mont Cavais de 12.6 km, el San Gotardo de 15.2 km y el Simplón de 19.7 km.

La aparición y popularización del automóvil desde principios del siglo XX dan lugar al nacimiento de la **Era de las Carreteras** y en ella no podían faltar los túneles. El túnel carretero de San Gotardo con casi 17 km de longitud es en la actualidad el más largo en su género en todo el mundo, si bien este record será superado en los primeros años inicios de nuevo siglo.

Sin lugar a dudas, Noruega es uno de los países líderes en el campo de los túneles, tanto por el volu-



■ Portal de entrada, sentido Bogotá - Villavicencio

men de obra subterránea, como por el avance tecnológico. El túnel de carretera más largo del mundo está siendo construido entre las localidades de Airland y Leardal, tendrá una longitud de 24.5 km y formará parte de la carretera que comunicará Bergen y Oslo.

En Colombia la construcción de túneles carreteros es relativamente nueva y la construcción y mejoramiento de carreteras en ejecución y en proyecto, contempla un buen número de estos.

El túnel del Boquerón, construido en la carretera Bogotá - Villavicencio y que cumple con los estándares internacionales es el primero en ser terminado y dado al servicio exitosamente.

### 2. CARRETERA BOGOTA VILLAVICENCIO

El sueño de tener una excelente vía que comunique a la capital del país con los llanos orientales que son la despensa del país, no es una ambición reciente. Aunque parezca asombroso, desde hace 238 años se tiene este propósito.

La diferencia es que mientras en el siglo XVIII la idea de llegar por tierra a la llanura Colombiana, representaba una odisea de más de un mes de duración. En la década del cuarenta el trayecto a Bogotá podría durar más de tres días. El proyecto actual contempla un recorrido de tan sólo 90 minutos, un tiempo sencillamente impensable y quijotesco para nuestros antepasados.

El General Santos Gutiérrez en 1869 propuso unas obras entre Quetame y Villavicencio, que fueron suspendidas debido a la falta de presupuesto en las partidas nacionales. Datos más recientes dan cuenta de que la primera etapa (Bogotá – Chipaque), se terminó en 1928, la segunda etapa (Chipaque – Caqueza) se terminó del 1932; y finalmente, la carretera llegó a Villavicencio en 1936. Antes de la tragedia de Quebradablanca (1974), el trayecto a Bogotá contaba con 120 kilómetros. Actualmente tiene 92 kilómetros.

trucción de algunos puentes en cercanía al municipio de Guayabetal en los límites de Cundinamarca y Meta. Con el inicio de la ejecución del viaducto de Chirajara se inicia realmente al proyecto Carretera Bogotá – Villavicencio.

Inicialmente la firma RECCHI GLF empezó la construcción del primer tramo de carretera desde Villavi-



### 3. PROYECTO ACTUAL

El proyecto actual de la carretera Bogotá – Villavicencio se viene ejecutando desde hace aproximadamente cinco años. El inicio de la construcción de esta importante carretera tiene lugar con la cons-

trucción de algunos puentes en cercanía al municipio de Guayabetal en los límites de Cundinamarca y Meta. Con el inicio de la ejecución del viaducto de Chirajara se inicia realmente al proyecto Carretera Bogotá – Villavicencio. Inicialmente la firma RECCHI GLF empezó la construcción del primer tramo de carretera desde Villavi-

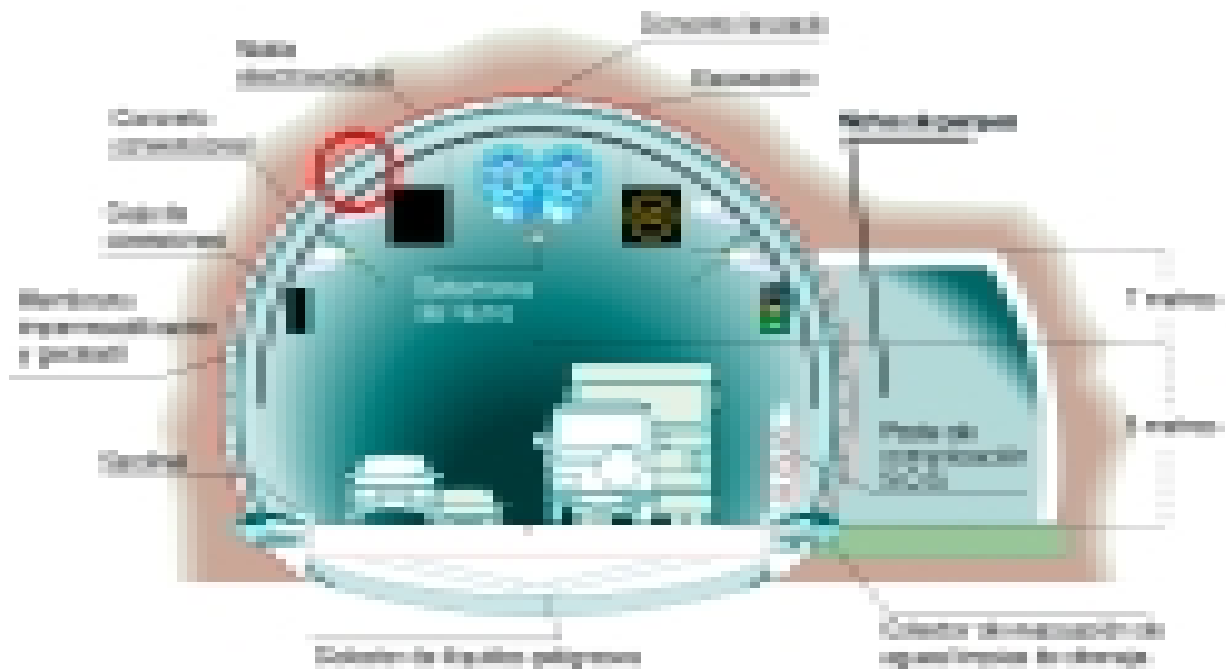
cencio hacia Bogotá. Este tramo comprendía carretera a cielo abierto, túneles y puentes de gran envergadura; todo el tramo de carretera es nuevo y conecta con el trazado antiguo en el sector de Pipiral. Este tramo conducirá el flujo vehicular alejado del sector antiguo de carretera que cruzaba por el alto de Buenavista y el cual, debido a su geología y conformación, presenta alto riesgo de deslizamientos. Ahora la carretera llega a Villavicencio a través del túnel de Buenavista (actualmente en construcción y que será uno de los más largos de Latinoamérica), para entregar en el anillo vial de la ciudad de Villavicencio.



■ Viaducto de Chirajara



■ Viaducto Bijagual, une al tunel Buenavista con el Bijagual (en construccion).



■ **Sección del túnel**

En este momento la firma Concreto S.A. termina los trabajos de carretera y Túnel en este sector.

El siguiente tramo hacia Bogotá, inicia en el sector de Pipiral y finaliza antes de llegar a Caqueza (km 55 al km 87). Su construcción la inicio la firma Brasileira Andrade Gutiérrez y comprende la rectificación de la carretera actual con la construcción de 42 puentes nuevos. Esta firma ejecutó cerca del 85% de los trabajos que fueron concluidos por la firma Inconstruc Ltda. El concreto fue suministrado por Metroconcreto S.A.

Nuevamente avanzando hacia Bogotá, se construyó la variante de Caqueza que evita el paso por esta población y disminuye el recorrido en 20 minutos aproximadamente. Este tramo lo construyó el Consorcio Gayco – Murillo Lobo Guerrero.

Por último, el tramo que parte de Bogotá y conecta con la variante

de Caqueza fue ejecutado por la firma **Dragados y Construcciones S.A.**, de España. Dentro de este tramo se encuentra ubicado el **Túnel del Boquerón**, obra construida en tiempo record y que cumple con todos los estándares internacionales para este tipo de vía.

**4. TUNEL DEL BOQUERON.**

**Características Técnicas**  
El túnel del Boquerón tiene una longitud efectiva de 2.325 mts con una pendiente promedio del 2% y un ancho de calzada efectivo de 8 m. La sección total de excavación fué acometida sobre terrenos tipo 3, 4 y 5. El volumen total de excavación fue de aproximadamente 350.000 m³.

**Secuencia de construcción general:**

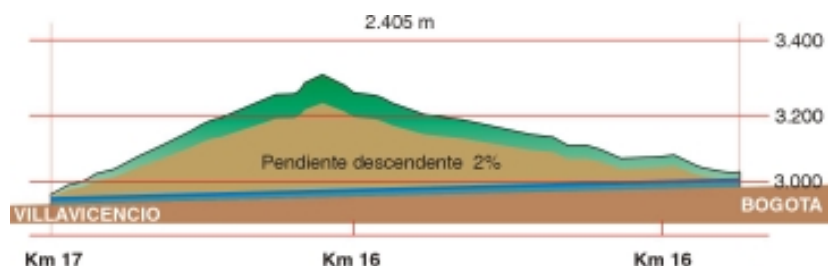
- Perforación para la colocación del explosivo
- Cargue del frente con los explosivos
- Voladura para media sección
- Retiro de escombros

- Concreto lanzado primario
- Colocación de arcos malla electrosoldada de refuerzo.
- Concreto lanzado secundario
- Perforación y colocación de pernos de anclaje.
- Excavación para completar la sección.
- Construcción de solera y presolera en concreto.
- Construcción viga base o tacones.
- Impermeabilización con geomembrana.
- Colocación del concreto de revestimiento
- Colocación del pavimento de concreto definitivo
- Corte y sello de juntas
- Iluminación, ventilación y otros

**5. CONCRETO LANZADO**

Para la entibación o sostenimiento se dispuso de dos lanzadoras de concreto proyectado por vía húmeda provistas de brazo robot, así como de dos plataformas elevadoras para la colocación de la malla electrosoldada, inyección y colocación de pernos.

Teniendo en cuenta las bajas temperaturas del lugar, ya que el túnel se encuentra a 3.000 m.s.n.m. en promedio, el desarrollo del sistema de concreto lanzado requirió la utilización de cemento Tipo III.





■ *Concreto lanzado*

Este cemento debido a su desarrollo temprano de resistencias y su relativamente corto tiempo de fraguado, era ideal para combinarlo con el aditivo acelerante aplicado al final en la boquilla de lanzado.

Se requería que el concreto lanzado, una vez colocado, desarrollara una labor de sostenimiento preliminar y evolucionara de tal forma que a las 12 horas de colocado tuviera una resistencia de 60 kg/cm<sup>2</sup>, evaluada en núcleos.

Se utilizó el aditivo acelerante **Sigunit L-22** aplicado 3 mts antes de la boquilla de salida y dosificado mediante un equipo Aliva AL-403 de operación electrónica, el cual suministró dicho aditivo con gran precisión. El rendimiento conseguido en el lanzado fue de 6 m<sup>3</sup>/hora.

La mezcla para concreto lanzado requería que ésta no tuviera una relación A/C superior a 0.42, ya que el exceso de agua retarda el desarrollo temprano de resistencias y disminuye la resistencia final, aumentando el rebote y el consumo de acelerante.

Para obtener este tipo de mezcla se utilizó el aditivo superfluidificante **Sikament NS** dosificado al 1% del

peso del cemento utilizado para la fabricación del concreto.

Este aditivo superplastificante llevaba la mezcla de 2" de asentamiento a 7" de asentamiento sin adicionar mas agua. El concreto debía evolucionar hasta obtener 264 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de resistencia a la compresión evaluada en núcleos de 2 1/2" extraídos de artesas tomadas para tal fin.

Durante el transcurso de la obra fueron cambiados los equipos de lanzado y los nuevos ya no requerían una asentamiento de 7" para poder bombear la mezcla de concreto; por esta razón, se reempla-

zó el aditivo **Sikament NS** por el aditivo **Plastiment BV-40** en dosis media de 7 cm<sup>3</sup> por kilo de cemento. La fabricación del concreto se realizaba en la planta de Concretos Premezclados ubicada en el portal de salida, por lo cual, el tiempo de transporte a este Frente era corto (aprox 10-15 min). Para el portal de entrada la mezcla se produjo con un pequeña dosis adicional de **Plastiment RMX** (plastificante – retardante), ya que el tiempo de transporte a ese portal era de aproximadamente 1 1/2 hora; y las mezcladoras debían subir el alto del Boquerón y bajar de nuevo hasta encontrar el otro frente.

#### Diseño del Concreto Lanzado:

##### Cemento:

430 kg Río Claro Tipo III

##### Aditivos:

- **Plastiment BV-40** (7 cm<sup>3</sup>/kg cemento, dosificado en planta)
- **Plastiment RMX** (2 cm<sup>3</sup>/kg cemento, dosificado planta. Para portal entrada)
- **Sigunit L-22** (3.0% del peso del cemento dosificado en obra)

Asentamiento antes de aditivos fluidificantes: 2"  
Asentamiento después de fluidificantes: 6"  
Relación A/C: 0.41

La evolución típica de resistencia evaluada sobre núcleos de 2 1/2" para esta mezcla fue:



■ *Frente de excavación*



■ Inyecciones en el frente de excavación

| Edad     | Resistencia            |
|----------|------------------------|
| 12 horas | 60 kg/cm <sup>2</sup>  |
| 1 día    | 150 kg/cm <sup>2</sup> |
| 3 días   | 210 kg/cm <sup>2</sup> |
| 7 días   | 260 kg/cm <sup>2</sup> |
| 28 días  | 315 kg/cm <sup>2</sup> |

La excavación y sostenimiento de la sección se realizaba por los dos frentes y el encuentro de los dos o calé del túnel se realizó el 19 de agosto/98.

## 6. CONCRETOS CONVENCIONALES

Para el túnel, así como para el tramo de carretera (cunetas, puentes, solera, presolera, pavimentos y otros elementos de diferentes resistencias y características) se produjo una gran variedad de tipos de concreto. Los concretos convencionales, los cuales no tenían solicitaciones especiales de resistencias tempranas, se fabricaron con cemento Tipo I. Este tipo de concreto se elaboró con el aditivo **Plastiment RMX** en dosis media de 3.5 cm<sup>3</sup>/kilo de cemento.



■ Colocación de la geomembrana

## 7. CONCRETO PARA EL REVESTIMIENTO DEFINITIVO

El acabado definitivo del túnel se realizó con un concreto convencional bombeado en encofrado metálico y con un espesor de 50 cms. Este concreto debía alcanzar una

resistencia mínima a la compresión de 45 kg/cm<sup>2</sup> para poder retirar la formaleta metálica del revestimiento. Se diseñó de tal manera que esta resistencia fuera alcanzada en 8 horas con cemento Tipo III.

La especificación requería utilizar adicionalmente gravilla fina, que



■ Bombeo del concreto de revestimiento



■ Concreto en el interior de la formaleta

como es sabido posee una mayor superficie específica que incrementa las demandas de agua, por ello y por las especificaciones de resistencia se utilizó el aditivo **Sikament HE-200**, superreductor de agua que incluye un acelerante sin cloruros. La dosis utilizada fue 1.4% del peso de cemento (4.7 litros/m<sup>3</sup>). Los 17.000 m<sup>3</sup> de concreto de revestimiento se fundieron en tiempo récord debido al sistema constructivo y al muy corto tiempo de retiro de la formaleta incluso para los estándares internacionales comunes en este tipo de proyectos que es de 12 horas. En las zonas de parqueo (nichos), donde la sección del túnel es considerablemente más amplia y donde se hizo uso de una formaleta diferente al resto de túnel, se utilizó el aditivo **Sika Rapid 1** para garantizar una resistencia inicial en muy pocas horas, la dosis utilizada fue del 1% de peso del cemento.

## 8. VOLUMENES DE OBRA REPRESENTATIVAS

Concreto lanzado: 35.000 m<sup>3</sup>  
 Concreto convencional:  
 80.000 m<sup>3</sup> incluida la vía  
 Concreto de revestimiento:  
 17.000 m<sup>3</sup>  
 Excavación: 350.000 m<sup>3</sup> de roca



■ Vaciado del concreto de revestimiento



■ Construcción del revestimiento definitivo - Portal de salida



## 9. PAVIMENTO RIGIDO DEL TUNEL

El pavimento definitivo del túnel se elaboró en su totalidad con concreto hidráulico de 0.20 m. de espesor cortado en módulos de 50 m por 4 m.

Las juntas fueron selladas con la masilla elástica de poliuretano **Sikaflex 1CSL** soportada sobre fondo de junta **Sika Rod** de diámetro de 5/8".

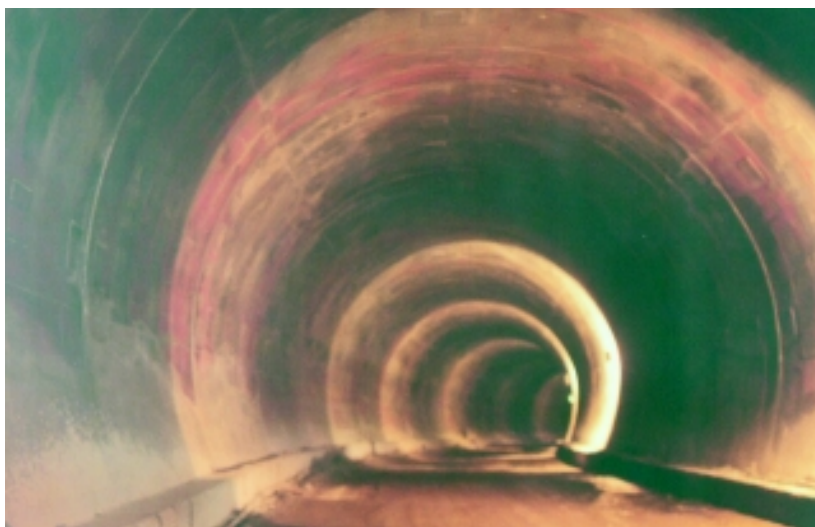
La juntas de piso en las bahías de parqueo fueron selladas con **Sikaflex T-68W** dada su mayor probabilidad de contacto con carburantes provenientes de vehículos, varados o estacionados en ese lugar.



■ Construcción del falso túnel - portal de entrada

## 10. RECONOCIMIENTOS

Los túneles, importantes vínculos de unión y desarrollo han sido y serán un enorme reto para el ingenio del ser humano razón por la cual debemos rendir tributo (rescatando del olvido) a todos los tuneleros sean estos dueños, diseñadores, calculistas, constructores, geólogos o trabajadores que con su esfuerzo, incluso a menudo con el sacrificio de su salud o de sus propias vidas han sido y son los verdaderos protagonistas de esa lucha constante, en la que como en pocos otros casos, el ingenio, la audacia, el desprecio por el peligro y el afán de superación se hacen solidarios.



■ Concreto de revestimiento definitivo

El Boquerón es el primer túnel de carreteras de altas especificaciones construido en Colombia y **Sika**, con sus sistemas, productos, tecnología y personal altamente capacitado se siente orgullosa de haber contribuido para que fuera una realidad.

## 11. PRODUCTOS SIKA REQUERIDOS MAS REPRESENTATIVOS

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| • Plastiment®RMX:   | 95.000 kg      |
| • Plastiment®BV-40: | 90.000 kg      |
| • Sigunit®L-22:     | 650.000 kg     |
| • Sika Rapid®-1:    | 15.000 kg      |
| • Sikament®HE-200:  | 96.000 kg      |
| • Sikament®-NS:     | 12.000 kg      |
| • Sika-Aer®D:       | 6.000 kg       |
| • Sikaflex®-1CSL:   | 2.000 unidades |
| • Sikaflex®T68W:    | 350 kg         |
| • SikaRod:          | 5.000 m        |