

## Viaducto Pipiral

*Diego Correal Medina\**

**L**a ejecución de viaductos de gran importancia y complejidad, ha estado íntimamente asociada con los avances en la tecnología de puentes, el desarrollo económico general y el reconocimiento de la dimensión ambiental como factor de primordial trascendencia para su concepción y ejecución. Por ello, hasta hace pocas décadas éstos proyectos especiales se materializaban casi exclusivamente en los países pertenecientes al primer mundo. Prueba de ello las autopistas italianas, austríacas y de otros países alpinos, caracterizadas por la imponente presencia de esbeltos viaductos, que salvan profundos valles o transcurren paralelos al perfil de las montañas, sin llegar a incrustarse en ellas, con lo cual se minimiza la perturbación del medio ambiente y los problemas de estabilidad de taludes y mantenimiento. Claro, todo ello a un costo muy elevado. (Fotografía No. 1).

El Estado del arte antes descrito, alcanza hoy a muy numerosos y distintos países. Para dar un ejemplo se presentarán en este artículo algunos elementos pertenecientes al proyecto del Viaducto Pipiral, ubicado en la vía Bogotá-Villavicencio.

### **Viaducto Pipiral**

Es bien conocido que las cordilleras que atraviesan nuestro país son formaciones "jóvenes", desde el punto de vista geológico; a diferencia de la relativa inmovilidad de formaciones como el Himalaya en Asia o los Alpes en Europa, nuestras cordilleras están en proceso de transformación. Esta situación es particularmente notable en la cordillera oriental colombiana, caracterizada por una génesis geológica de tipo sedimentario y metamórfico, con abundante presencia de terrazas,

\* Ingeniero Civil Coordinador de la Especialización en Diseño, Construcción y Conservación de Puentes, Universidad Militar "Nueva Granada".



rellenos, coluviones y otras manifestaciones de movimientos recientes y/o en proceso, que condicionan la estabilidad del macizo rocoso en extensas zonas de dicha cordillera.

El diseño y la selección final de alternativas para la ejecución de un puente es, necesariamente, un proceso iterativo donde se contemplan y ponderan características geológicas, geotécnicas, estructurales, ambientales, hidráulicas y económicas.

Es el caso de la vía Bogotá-Villavicencio en su intersección con la quebrada

“Pipiral”, zona que presenta condiciones geológicas y geotécnicas muy complejas. Para obtener los estudios que conduzcan a la selección de la alternativa más adecuada para salvar este obstáculo en la forma técnica, ambiental y económicamente más favorable, el Instituto Nacional de Vías - INVIAS, responsable por el desarrollo de proyectos en la red vial nacional, ha contratado diversos estudios con firmas de ingeniería de consulta. Así, en el primer semestre del año 1999, la firma de consultoría que adelantó los últimos estudios, fase II, presentó el informe final respectivo<sup>1</sup>, para efectos de continuar el

1. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS DE GEOTECNIA Y PUENTES DEL VIADUCTO PIPIRAL; Consultoría Colombiana S.A. Informe final revisión 01; marzo de 1999

proceso que culminó con la apertura de la licitación<sup>2</sup> pública para la ejecución del proyecto.

El proyecto del Viaducto Pipiral "contempla la construcción, con el sistema de voladizos sucesivos, de un puente de cinco luces, tres intermedias de 125 m y dos hacia los estribos de 75 m, para una longitud total de 525 m. Tiene cuatro pilas de altura variable, las cuales se cimientan mediante caissons ejecutados a mano de 2,5 m de diámetro y longitud también variable"<sup>(1)</sup> (Esquema N° 1b - ALZADO).

"Para los estribos se considera suficiente que los caissons tuvieran solamente 2.0 m de diámetro por cuanto las cargas son relativamente bajas y la necesidad de caisson es mas para mejorar la estabilidad de la ladera en la zona de los estribos"<sup>(1)</sup> (Esquema N° 1b-ALZADO: nótese pilotes en estribos).

Como ya se mencionó anteriormente, las condiciones especiales de geología y geotecnia de la zona conducen a un tratamiento muy cuidadoso, en el cual se debe reconocer los diferentes tipos de estructuras geológicas, sus espesores y estabilidad para definir la estructura a ejecutar.

En este proyecto, la alternativa de diseño geométrico seleccionada, de un puente

curvo, obedece fundamentalmente a la ubicación de los puntos de apoyo del puente en sitios reconocidos por la seguridad que confieren a la cimentación, es decir que la geometría del puente, por ende sus características estructurales, están determinadas por el criterio dominante de las condiciones geológicas y geotécnicas que garanticen la adecuada estabilidad de la obra. Por supuesto que en la alternativa seleccionada se buscaron también las mejores condiciones de afectación ambiental y de minimización de costos. (Esquema N° 1a - PLANTA).

Para efectos de este artículo, se presentan algunas de las conclusiones en el informe referido:

## Estudios geológicos

En la zona existe una zona de deslizamientos que afecta la vía actual de difícil manejo y control. Así mismo, se ha identificado un foco de alta inestabilidad por erosión y remoción, el cual debe ser mitigado con obras de defensa y regeneración vegetal.

Para los accesos a las excavaciones de pilas y estribos se debe implementar un sistema que corte la concentración de aguas y generación de procesos erosivos.

2. Adjudicado a la firma constructora CONCIVILES S.A.

Así mismo, el equipo interdisciplinario de geólogos e ingenieros geotecnistas recomendó minimizar la intervención en las laderas. Con "excavaciones locales no mayores de 5.0 m, por lo cual los dados o zapatas que reciben las columnas deben ser aéreos; por lo anterior, los caissons se construirán hasta el nivel del terreno y de allí en adelante se ha proyectado en los apoyos 2, 3 y 4 un entramado de muros sobre los cuales se apoyan los dados o zapatas. Asimismo, la exigencia prioritaria a los contratistas que desarrollen el proyecto es la de no hacer ninguna excavación en la ladera".<sup>(1)</sup> (Esquema N° 1b - ALZADO: nótese muros en los apoyos señalados).

Cualquier excavación o movimiento de tierras en estas laderas debe ser objeto de protección y recuperación vegetal.

## Estudios sísmicos

En el borde llanero (hacia el oriente) se registra la presencia de fallas generadoras de sismos, por lo cual la NSR considera la zona como de riesgo sísmico alto. Por lo anterior, se adoptó para el diseño estructural del puente un coeficiente de aceleración de  $a = 0.40$ , como resultado de la consideración de los diferentes conjuntos de datos analizados para este efecto.

## Estudios geotécnicos

Los materiales térreos en general presentan alta variabilidad de sus propiedades geomecánicas, en especial las formaciones denominadas "terrazas".

Las terrazas son altamente susceptibles a erosión cuando se les quita la protección que les ofrece la vegetación, en especial la boscosa, por lo cual es indispensable preservarla, en especial durante la construcción.

Las condiciones topográficas y de estabilidad del terreno propician la combinación del efecto de erosión y deslizamiento, llamado denudación, el cual es factible de sucederse especialmente durante la construcción de las excavaciones para los apoyos de las estructuras; por lo anterior,

dichas excavaciones no deben tener más de cinco metros de profundidad.

Por las mismas condiciones anteriores y por la sismicidad de la zona, la cimentación del viaducto debe hacerse profunda, con caissons de diámetro superior a 2.5 m y con profundidades en la roca mayores a 15 m para los apoyos principales. (**Esquema N° 1b-ALZADO: nótese longitud pilotes en apoyos**).

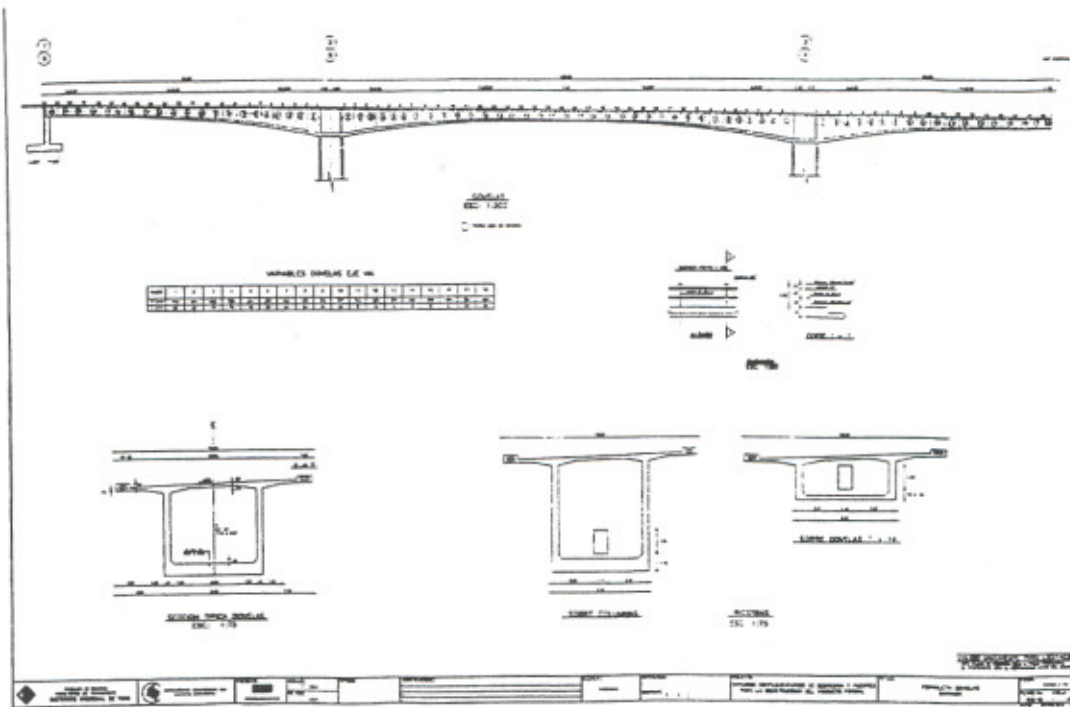
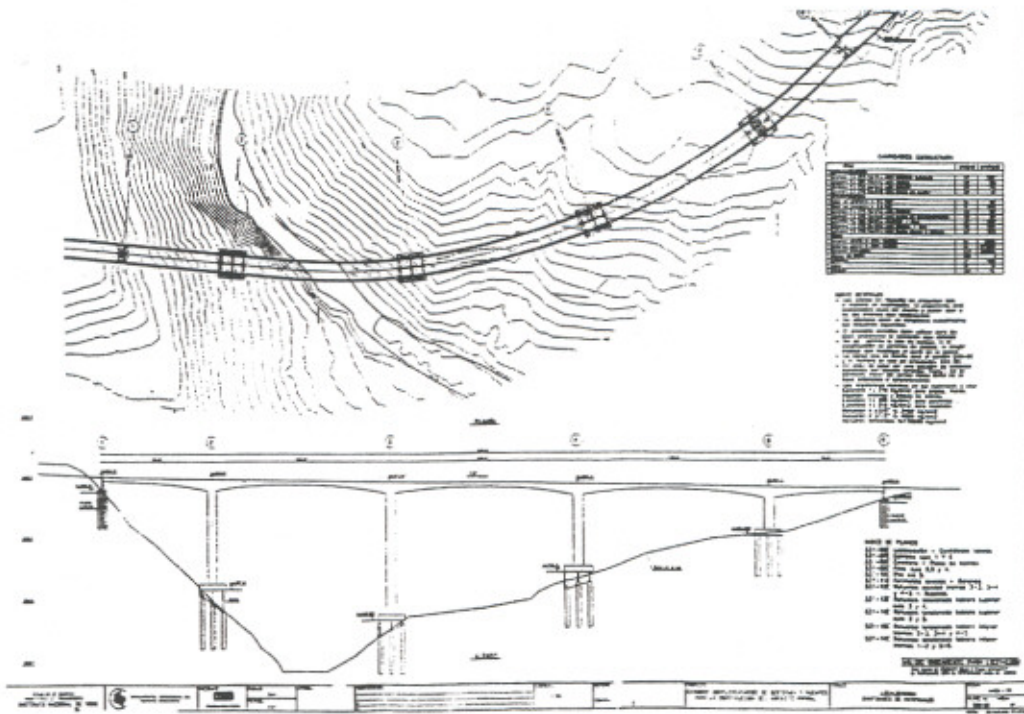
Así mismo, debe ser provistos sistemas de drenaje y subdrenaje adecuados (tales como cunetas y zanjas de coronación revestidas, filtros gradados o con geotextiles, obras de conducción, etc.) que garanticen permanentemente el flujo del caudal de infiltración hacia las corrientes naturales, sin causar erosión o infiltración en los materiales térreos.

## Estudios estructurales

El proyecto definitivo debe utilizar para los apoyos los puntos que se usaron en el anteproyecto establecido. (**esquema No. 1a - PLANTA**).

La mejor respuesta a las restricciones constructivas, geotécnicas y ambientales se encontró con el diseño de un puente ejecutado por los voladizos sucesivos con el empleo de dovelas de sección variable. (**esquema No. 2 - DOVELAS**).

Cualquier estructura que se proyecte exigirá la construcción de pilas, con suministro de materiales mediante sistemas de



transporte que no toquen la ladera, por lo tanto no debe permitirse la construcción de caminos de acceso ni la tala de bosque para el acceso de maquinarias y/o, materiales.

Este grupo de consideraciones someramente presentado evidencia la complejidad técnica de este proyecto, con cuya exitosa ejecución se demostrará una vez mas la capacidad de la ingeniería colombiana y su competitividad a nivel mundial. La anterior afirmación se sustenta en la conjunción de muy severas condiciones impuestas por la naturaleza al proyecto:

### **1. Geológicas: inestabilidad**

Permanente, por la condición propia del macizo rocoso, en procesos de inestabilidad macro y micro, con movimientos de masas (coluviones, reptamientos), discontinuidades, fallas y topografía que favorece la susceptibilidad a la erosión y remoción de tierras.

### **2. Geotécnicas: alteración**

Fuerte alteración de las condiciones de los suelos, ya inestables por su proceso geológico, con muy deficientes características geomecánicas.

### **3. Estructural: riesgo sísmico**

Ubicación en zona de transición orográfica, (borde llanero), con presencia de fallas.

### **4. Constructiva: limitaciones**

Sitios únicos para ejecución de cimentaciones, limitaciones para excavaciones, restricciones constructivas para accesos, fuentes de materiales, intocabilidad de taludes, manejo extremadamente cuidadoso de aguas superficiales, subsuperficiales y profundas.

### **5. Ambiental: extrema fragilidad**

Si se llegara a exceder las muy limitadas condiciones de intervención se generaría, no sólo daño ambiental, está especificado que ello comprometería la estabilidad misma del proyecto.

### **6. Seguridad**

No debería ser distinto que en cualquier otra parte del mundo, pero, desafortunadamente, proyectos tan estratégicos como éste no sólo requieren un constante monitoreo de la afectación ambiental que producen, las condiciones de carga circulares, los efectos sísmicos, la patología estructural, etc.; requieren una vigilancia especial que lo preserve de acciones humanas en su contra.

Con lo anteriormente enunciado es fácil apreciar cómo este proyecto es muy especial y se comprueba lo inicialmente afirmado, en el sentido de que su materialización será una muestra de la capacidad de la ingeniería nacional.