

## Dossier Regional



# El puente que unió a Yondó con Barrancabermeja

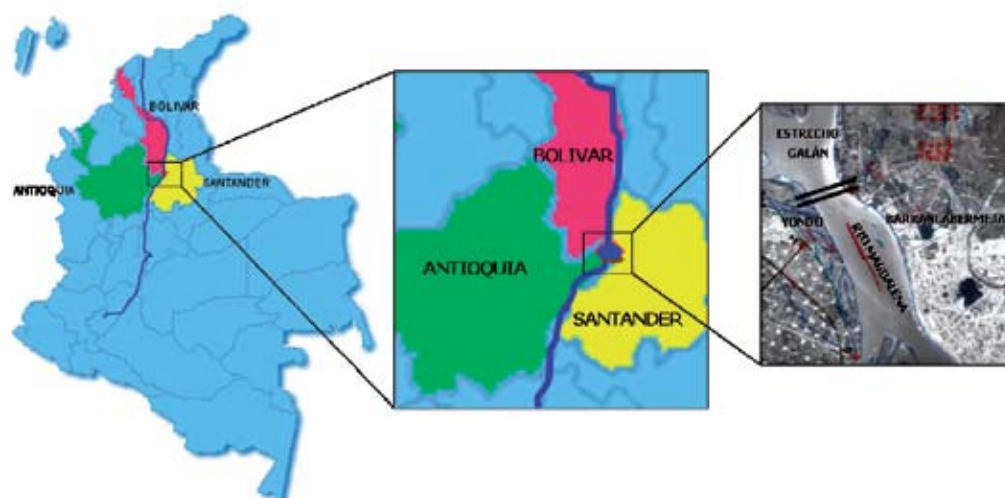


# El puente que unió a Yondó con Barrancabermeja

EN SU CORTA VIDA, el puente Barrancabermeja-Yondó, bautizado Guillermo Gaviria Correa como un homenaje póstumo al gobernador de Antioquia asesinado, ya ha ganado dos importantes premios: el XV Premio Obras CEMEX y el Premio ASOCRETO. Por la adaptación al paisaje que lo circunda, el uso de pocos elementos y por la manera como enmarcó y embelleció el río Magdalena, fue ganador del XV Premio Obras CEMEX, en la categoría Obras de Infraestructura, correspondiente al año 2006. Igualmente, la Asociación Colombiana de Productores de Concreto lo declaró, en septiembre de 2006, ganador del máximo galardón en la categoría Obras Civiles, por su desarrollo con alto nivel de calidad, por la aplicación novedosa del concreto y por realizar un aporte significativo a la tecnología del material.

Con diseño estructural de Darío Farías y Cía., y construido por CONCRETO S.A., este puente principal de 400 metros de longitud tiene una luz central de 200 metros para permitir la navegación de embarcaciones del muelle multimodal de Barrancabermeja. Los viaductos de acceso, tanto en la margen de Yondó como en la de Barrancabermeja, tienen luces de 40 metros conformadas por tres vigas postensadas y una





placa, soportadas en columnas apoyadas sobre fundaciones erigidas sobre pilotes preexcavados. La construcción requirió la concertación del Instituto Nacional de Vías, dos departamentos (Antioquia y Santander), dos municipios (Barrancabermeja y Yondó) y la Empresa Colombiana de Petróleos. Fue terminado a finales de 2006, después de 27 meses de ejecución del proyecto.

Los accesos desde las dos márgenes del río requirieron la construcción de terraplenes, según los términos de un contrato adicional del Instituto Nacional de Vías con la firma CONCRETO. El acceso de la parte de Yondó tiene una longitud de 620 metros y el de la parte contraria, hacia Barrancabermeja, de 580 metros.

Como artefacto de ingeniería civil, este puente es un testimonio de la dignidad de la especie humana, de su capacidad para resolver problemas técnicos. Pero la otra cara de la moneda es que este puente también es una prueba de la capacidad humana para provocar a la naturaleza y originar nuevos problemas no planeados por persona alguna. Por ello, este dossier acoge dos puntos de vista distintos, provenientes de dos ingenieros excepcionales, ambos miembros de la comunidad de nuestra Universidad.





**C**omo parte del programa “Vías para la paz”, promovido por el Ministerio del Transporte y el Instituto Nacional de Vías, financiado por un crédito de la Corporación Andina de Fomento y por otros recursos adicionales aportados por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento, se abrió un concurso público para la elaboración de los estudios y diseños del puente que sería construido sobre el río Magdalena en la carretera que uniría a Barrancabermeja con Yondó, es decir, entre los límites de los departamentos vecinos de Santander y Antioquia.

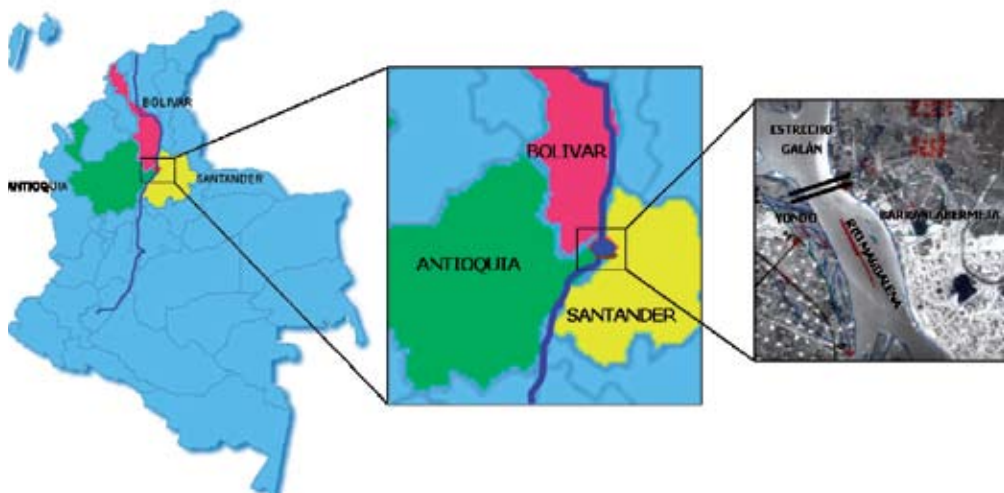
Este concurso fue adjudicado al Consorcio DESARROLLO DE VÍAS, el cual ejecutó los estudios y el diseño definitivos pactados con INVIAS por el contrato número 934 de 2001. Este Consorcio se integró por las firmas INTERSA S.A. (75% de participación) y DIN LTDA. (25% de participación). Por otra parte, INVIAS, ECOPEPETROL, los departamentos de Santander y Antioquia, los municipios de Barrancabermeja, Yondó, San Pablo, Santa Rosa, Cantagallo, Simití y Puerto Wilches

suscribieron un convenio con la Corporación Andina de Fomento para la administración de los aportes iniciales del proyecto, los cuales sirvieron de base para contratar el suministro de concreto, la interventoría y la construcción. El contrato de obra fue celebrado entre la firma CONCRETO S.A. y el Instituto para el Desarrollo de Antioquia. El suministro de concreto fue contratado con la empresa CEMEX S.A.

### LOCALIZACIÓN

El puente que une a Barrancabermeja con Yondó se encuentra localizado en el área comprendida por el sector oriental del Departamento de Antioquia, el occidente del Departamento de Santander y el sur del Departamento de Bolívar. El sector seleccionado para la construcción del puente se encuentra ubicado en el Estrecho de Galán, kilómetro 661 del río Magdalena, unos seis kilómetros aguas abajo del Puerto de Barrancabermeja y de la Refinería de ECOPEPETROL, entre los campos petroleros de Galán (Santander) y Casabe (Antioquia).

Figura 1.  
Localización  
General



### EL PROYECTO

La elaboración de este proyecto se inició con la recopilación de los estudios que previamente se habían realizado sobre este tema, los cuales se ampliaron y profundizaron con la participación de especialistas de reconocida experiencia en cada materia, bajo la dirección de un profesional de amplia formación académica, quien fue el responsable de la coordinación del proyecto.

Los estudios básicos comprendieron, entre otros, los siguientes aspectos: Topografía, Batimetría, Hidrología, Hidráulica, Socavación, Navegación Fluvial, Geología, Geotecnia y Fundaciones, Estudios de Tráfico y Diseño Geométrico. Con base en estos estudios se establecieron los parámetros para el Diseño Estructural, se determinaron las cargas que soportarían las Fundaciones, se diseñaron éstas, se calcularon las Cantidades de Obra y se elaboraron sus Especificaciones, el Presupuesto y la Evaluación Socio-Económica. Fue así como finalmente se pudo establecer la viabilidad de la Obra.

A continuación se presenta un resumen de los aspectos relevantes de cada uno de estos temas.

### HIDROLOGÍA

El régimen hidrológico del río Magdalena muestra un comportamiento de carácter estacional en la ocurrencia de crecidas por la alta pluviosidad de su cuenca, la cual hace que el agua rebose la capacidad del cauce y se desborde hacia las ciénagas y otros cuerpos de agua. Este régimen ha experimentado alteraciones a través del tiempo, no sólo por la acción de elementos físicos, sino también, últimamente, por la intensa acción antrópica a lo largo y ancho de toda su cuenca.

### HIDRÁULICA

El estudio contempló un levantamiento topobatimétrico del sector, tomando secciones desde 1.000 metros aguas arriba hasta 500 metros aguas abajo del puente, separadas 20 metros en cercanías al eje y

50 metros en el resto del sector. También se tomaron trayectorias de flujo a profundidades de 1, 3 y 5 metros. La topografía de las márgenes se llevó hasta donde puede llegar la influencia de los niveles máximos del agua.

### SOCAVACIÓN

El análisis de socavación para los apoyos del puente se ejecutó considerando un caudal de 7.620 metros cúbicos por segundo, correspondiente a un período de recurrencia de cien años, y el nivel de aguas máximas de 74,20 msnm para el sitio del puente. De la observación de fotografías aéreas de varias épocas se pudo establecer que la orilla derecha del río, en el sector del Estrecho de Galán, ha permanecido inmodificada, deduciéndose de esto que el material que la conforma es resistente a los procesos de erosión por socavación y además, por su altura, normalmente no ha sido sobrepasada por la lámina de agua del río, excepto en grandes avenidas. En la margen izquierda del río, la zona baja adyacente al flujo actual, corresponde a una zona de constante inundación.

### NAVEGACIÓN FLUVIAL

En el sitio del puente la pendiente hidráulica es de 30 cm/km para un caudal de 7.620 m<sup>3</sup>/s. Considerando las batimetrías históricas y las fotografías aéreas disponibles, el canal navegable ha estado la mayor parte del tiempo recargado hacia la margen derecha. Por otra parte, CORMAGDALENA decidió que el nuevo puerto multimodal de Barranca Bermeja se localizara en la margen derecha, junto al puente por diseñar, lo cual implicaba que se debían crear condiciones para que siempre existiera un canal navegable por la margen derecha. Se consideró conveniente el cálculo del canal navegable bajo el puente para doble vía con el fin de permitir el paso a las embarcaciones en forma segura, y así mismo hacer posible el acceso al puerto multimodal proyectado.

Una vez realizados los análisis respectivos, se concluyó que la separación entre

1) Ingeniero Civil, Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. Estudios de postgrado en Columbia University (New York) y Universidad de Alcalá de Henares (España). Ex profesor asociado de la Universidad Industrial de Santander, ex director ejecutivo del Plan General de Desarrollo uis-bid. El presente artículo se basa en el Informe Ejecutivo elaborado, en marzo de 2006, por las firmas intersa s.a., din s.a. y concreto s.a.

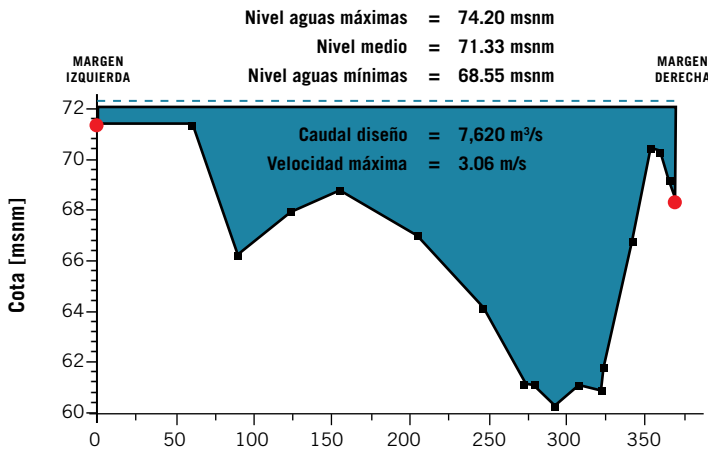


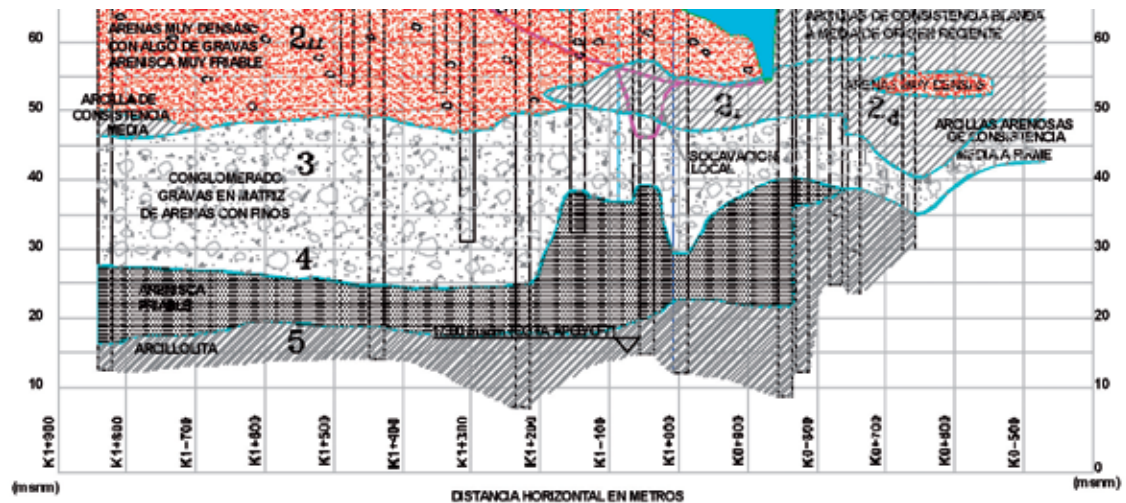
Figura 2. Condiciones hidráulicas del río.

las pilas fuera de 200 metros en el canal navegable, teniendo en cuenta que la recomendación pertinente del Ministerio de Transporte ha sido que para cada canal navegable se tenga como mínimo una luz libre, entre pilas, de 90 metros. Como este Ministerio recomendó que el gálibo no debía ser inferior a 15,50 metros sobre el nivel de aguas máximas, se adoptó este criterio.

**GEOLOGÍA**

El relieve de la zona del ponteadero corresponde a una geoforma plana, horizontalizada y extensa, interrumpida lateralmente por el río. La interpretación de las muestras litológicas obtenidas en las perforaciones, así como el conocimiento geológico regional y

Figura 3. Perfil geotécnico.



local, hicieron posible llegar a obtener la conceptualización del comportamiento geológico del material del subsuelo, a lo largo del eje del proyecto.

**GEOTECNIA Y FUNDACIONES**

En los análisis geotécnicos se utilizó la información previa realizada, entre enero y febrero de 1990, por la firma Maldonado Ingeniería S.A. sobre un eje que se encuentra corrido cerca de 50 metros aguas abajo del actual. Después se realizaron los sondeos programados sobre los esquemas básicos del puente, los cuales se fueron modificando según las necesidades propias de la superestructura, principalmente por las luces determinadas y los gálibos verticales necesarios para el paso de las embarcaciones.

Con base en las consideraciones expuestas, se llegó a las siguientes conclusiones:

- El Estrecho Galán era el sitio que presentaba las mejores condiciones para la localización del puente proyectado.
- Las condiciones geológicas y morfológicas en el Estrecho Galán, respecto a las zonas adyacentes, aportaban características geotécnicas que satisfacían las necesidades del diseño del puente, pues la estructura estaría cimentada en material *in situ* y no sobre material de depósitos.

- Las características morfológicas del lecho del río, aguas arriba del Estrecho Galán, favorecerían el desarrollo dinámico de la corriente.

**DISEÑO GEOMÉTRICO**

El proyecto contempló el diseño de una vía que mediante un puente cruzara el río Magdalena, uniendo de esta manera los municipios de Barrancabermeja y Yondó, partiendo de la vía actual de acceso a Puerto Galán, unos 900 metros antes de la orilla derecha del río. Fue así como el diseño del puente y sus accesos se realizó dando cumplimiento al *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras* expedido por el Instituto Nacional de Vías en el año 1998.

El proyecto de rasante se estableció a partir de las recomendaciones de los estudios de Hidrología, Hidráulica, Socavación, y Navegación, en los cuales se definió la cota correspondiente al nivel de aguas máximas para un período de retorno de 100 años.

**DISEÑO ESTRUCTURAL**

De conformidad con los *Términos de Referencia*, se evaluaron tres alternativas para el puente principal, teniendo como parámetros básicos un ancho de tablero de 11 metros, una luz central para el puente principal de 200 metros, luces laterales del puente principal de 100 metros y un gálibo de 15,5 metros sobre el nivel de aguas máximas. Las alternativas examinadas fueron las siguientes:

**Alternativa 1:** Puente atirantado con tablero de sección cajón en concreto. La disposición general del puente se presenta en la figura 4 a.

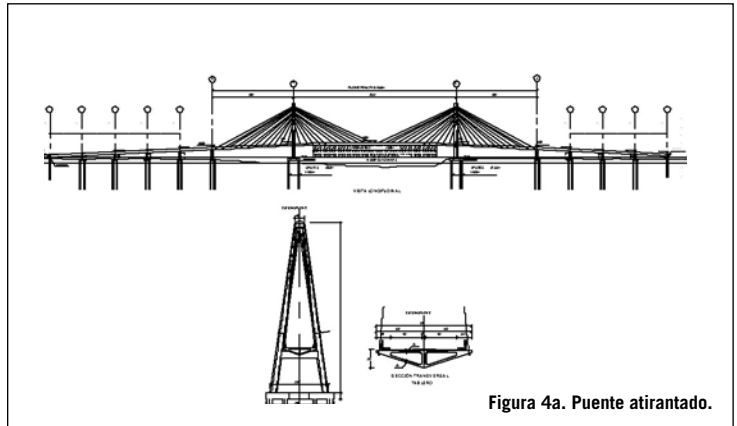


Figura 4a. Puente atirantado.

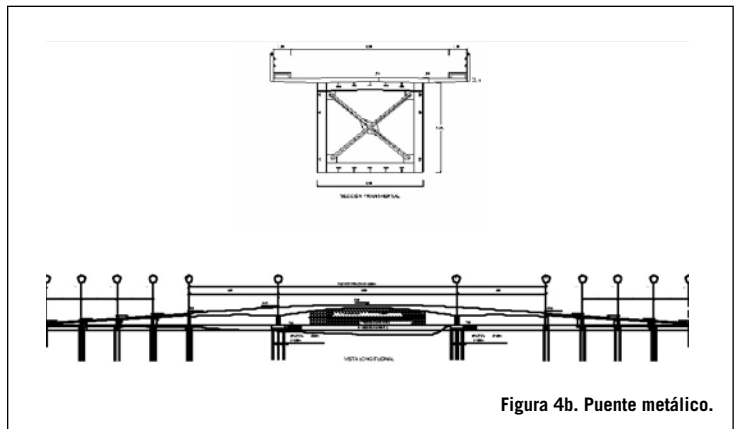


Figura 4b. Puente metálico.

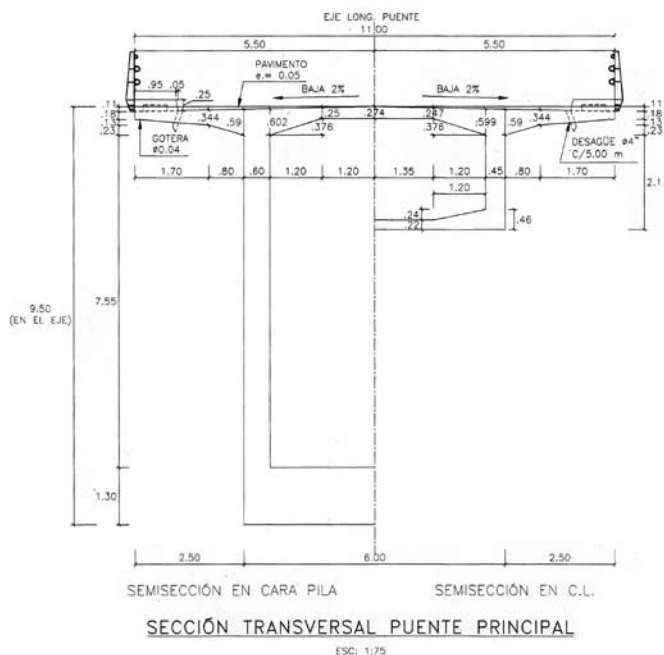
**Alternativa 2:** Puente metálico con sección cajón de altura variable. La disposición general del puente se presenta en la figura 4 b.

**Alternativa 3:** Puente en concreto para ser construido por voladizos sucesivos. En la figura 5 se presenta la disposición general del puente.

Para las tres alternativas, los viaductos de acceso presentaban una disposición de placa y vigas. La comparación de los costos globales del puente principal calculado para cada una de las tres 3 alternativas mostró que

Figura 5. Puente en concreto. Alternativa seleccionada.





la diferencia no era sustancialmente notable. Aunque esta diferencia era baja, se consideró que se debían tener en cuenta otros factores como la procedencia de los materiales y la participación total o parcial de la ingeniería colombiana en la construcción, con la consecuente posible generación de empleo.

Una vez presentadas las tres alternativas al INVÍAS, se decidió desarrollar, a nivel de planos de construcción, la alternativa del puente en concreto por voladizos sucesivos.

**DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

El proyecto consistió en un puente de 919,10 metros de longitud, conformado por un viaducto de acceso en la margen derecha (359,95 m), un puente principal de 399,20 m (con luces 99,60 m – 200,00 m – 99,60 m) y un viaducto de acceso en la margen izquierda (159,95 m). Los viaductos de acceso estuvieron conformados por luces de vigas postensadas y placa en concreto. El puente principal fue diseñado para ser construido por el sistema de voladizos sucesivos con dovelas fundidas *in situ*. El ancho del tablero fue de 11 metros y se constituyó por una calzada útil de 9 metros para dos vías de

tráfico y andenes de un metro a cada lado.

Debido a la exigencia de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones, se empleó concreto con resistencia a la compresión a los 28 días de 42 MPa para la superestructura, de 35 MPa para las columnas y de 28 MPa para las zapatas, pilotes y estribos.

**EL PUENTE PRINCIPAL**

La superestructura del puente está constituida por una viga continua postensada de sección cajón unicelular, con altura que varía parabólicamente ente 9,50 m en las caras de las pilas y 2,80 m en el centro de la luz central y sobre las dovelas extremas. El tensionamiento en fase isostática de la viga cajón se realizó con cables de acero de alta resistencia y baja relajación, de 19 torones y 5/8” por torón. Para el tensionamiento de continuidad se emplearon cables de 12 torones y 5/8”.

**MODELO DE ANÁLISIS**

Para modelar las estructuras se empleó el programa de análisis estructural SAP 2000.

**MODELO DEL PUENTE PRINCIPAL**

El modelo se ubicó dentro de un sistema global de coordenadas X, Y, Z, en donde el eje X correspondía con el sentido longitudinal del puente principal, el eje Y con el transversal y el eje Z era el eje vertical. Se emplearon elementos tipo FRAME para definir la superestructura, las pilas y los pilotes. Las zapatas se definieron por medio de elementos tipo SHELL.

El efecto del suelo sobre los pilotes se consideró dentro del modelo de análisis incluyendo unos resortes horizontales en los nudos de los pilotes, teniendo en cuenta los niveles de socavación. En el extremo inferior de los pilotes se consideró adicionalmente un resorte vertical. Los valores de estos resortes fueron tomados de las recomendaciones geotécnicas.



## CARGAS

Las cargas para el análisis, así como las combinaciones de carga, se evaluaron de acuerdo con las normas de diseño, del modo siguiente:

- Carga Muerta.
- Carga Permanente.
- Carga Viva.
- Carga Viva en Andenes.
- Fuerza de la Corriente.
- Cargas de Viento.
- Viento Sobre la Carga Viva.
- Frenado.
- Fuerzas Térmicas (Gradiente de Temperatura).
- Retracción por Fraguado y Flujo Plástico.
- Tensionamiento de Continuidad.
- Carga Dinámica (sismo).

**RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS  
GENERALES DE LA OBRA**

*Geometría***Pilotes viaducto margen derecha**


---

15 pilotes 1,50 m

**Pilotes puente principal**


---

36 pilotes 2,00 m y 6 pilotes 1,50 m

**Pilotes viaducto margen izquierda**


---

15 pilotes 1,20 m

**Pilas viaductos y puente principal**


---

Cajón rectangular unicelular

**Superestructura viaductos**


---

Vigas preesforzadas

**Superestructura puente principal**


---

Viga cajón unicelular, construido por voladizos sucesivos

**EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA****JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Esta obra es de gran importancia económica y social para el desarrollo del país, ya que se encuentra ubicada en el corazón de Colombia, en un sector que es centro de desarrollo productivo, donde confluyen los medios de transporte terrestre, férreo, aéreo y fluvial. Este último será racionalizado y ordenado con la construcción del puerto multimodal en Barrancabermeja. El puente beneficiará la integración nacional, facilitando la comunicación terrestre del Oriente del país y Venezuela, con el Océano Pacífico. Así mismo, permitirá un mejor acceso de los productos del occidente colombiano al creciente mercado venezolano.

Por otra parte, con la construcción del puente se logrará que el tráfico procedente de Cúcuta y Bucaramanga, a través de Remedios y Zaragoza, llegue a Cauca para continuar con tres destinos: el primero Córdoba, Sucre y los centros de exportación de Cartagena, Barranquilla, Santa Marta; el segundo hacia el Golfo de Urabá y el tercero hasta llegar al Golfo de Morrosquillo, futuro epicentro del movimiento de carga en el litoral Atlántico.

Los tráficos de carga y pasajeros procedentes de estas dos capitales departamentales tendrán la opción de conectarse con Medellín a través de la Transversal de la Paz, pasando por Bodegas, Maceo y Cisneros.

Además de lo anterior, la construcción del Puente generará los siguientes beneficios:

- Aumento del tráfico vehicular por facilidad en el cruce del río.
- Disminución de los tiempos totales de viaje.
- Menores recorridos para los desplazamientos de carga y pasajeros.
- Disminución de los costos de transporte.
- Ventajas comparativas frente a otras modalidades de transporte.

- Mayor velocidad operacional de los automotores.
- Aumento del valor de las tierras ubicadas en la zona de influencia.
- Incremento de la actividad económica y social del sector.
- Desarrollo de las actividades recreativas y turísticas.
- Aumento de las inversiones en la región.
- Aumento de la disponibilidad de bienes y servicios para la población.
- Incremento de las oportunidades de trabajo y empleo para la población.
- Facilidad en el control de la explotación de recursos naturales.
- Mejoramiento de las vías secundarias y de penetración.
- Mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores de la región.
- Facilidad en el acceso de las fuerzas del Estado a la región, para control del orden público.

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

**COSTOS DE CONSTRUCCIÓN E INTERVENTORÍA**

De acuerdo con los resultados de los estudios y diseños, con las especificaciones, las cantidades de obra, el análisis de precios unitarios y el presupuesto, se tienen los siguientes costos:

(En millones de pesos de septiembre del 2.002)

**COSTO DE CONSTRUCCIÓN E INTERVENTORIA**

(Precios económicos)

<b>Construcción del puente principal</b>	<b>28.105</b>
<b>Construcción de accesos</b>	<b>3.147</b>
<b>Costo total de construcción (incluye IVA)</b>	<b>31.252</b>
<b>Costos de estudios y diseños</b>	<b>745</b>
<b>Costo de la interventoría</b>	<b>1.734</b>
<b>TOTAL</b>	<b>33.730</b>

Al finalizar el período de evaluación, año 22, existe un valor de salvamento, o valor residual del puente principal y los viaductos de acceso, estimado en un 50% del costo de inversión, equivalente a \$15.626 millones.

Teniendo en cuenta los costos de mantenimiento vial y los ahorros en tarifas, al cambiar el tránsito entre las dos ciudades, que se hacía mediante lanchas y ferry, por el uso de vehículos automotores, se tienen los siguientes indicadores financieros:

**INDICADORES FINANCIEROS**

<b>Valor presente neto</b>	<b>3.678,0</b>
<b>TIR</b>	<b>13.53%</b>
<b>Relación Bo / Co</b>	<b>1,13</b>

Estos resultados positivos establecieron que el proyecto de la construcción del puente Barrancabermeja–Yondó, con sus accesos, es viable desde el punto de vista financiero. El valor presente neto es mayor que cero, es decir, que al final del período de análisis, 22 años, generan \$ 3.678,0 millones. La Tasa Interna de Retorno, del 13,53%, es más atractiva que la que actualmente el Gobierno Nacional está reconociendo a los proyectos viales concesionados, que es del 12% o menos. La Relación Beneficio/Costo, de 1,13, significa que por cada peso de costo el proyecto genera 1,13 pesos, lo que es equivalente a la expresión de que por cada cien pesos de inversión, el proyecto le retorna 113 pesos.

**PROCESO CONSTRUCTIVO**

**PILOTES**

A mediados de enero de 2004 comenzaron las labores de pilotaje, estableciendo dos frentes de trabajo independientes: el primero para ejecutar los pilotes de 2,00 m de diámetro en los apoyos 6, 7 y 8 del puente principal y, el segundo, los de 1,20 m y 1,50 m de diámetro en los apoyos restantes.



Panorámica de los trabajos de pilotaje en el río.

A finales de mayo de 2004, la terminación del periodo de crecientes del río trajo consigo la formación repentina de un depósito de sedimentos entre los apoyos 8 y 12 del puente, como prolongación de una isla preexistente, ubicada inmediatamente aguas arriba del eje del proyecto. De esta manera, la naturaleza compensaba las afectaciones de los primeros meses, ya que permitió finalmente la ejecución de los pilotes de los apoyos 8 a 12, ubicando los equipos de pilotaje directamente sobre tierra, luego de un trabajo previo de conformación y adecuación de una plataforma. Después de más de siete meses de trabajos, a comienzos de septiembre de 2004, finalizaron las labores de pilotaje.

#### ZAPATAS

Las fundaciones de los apoyos 7 y 14 se construyeron sobre una plataforma de vigas metálicas, apoyadas sobre ménsulas metálicas soldadas a los revestimientos de los pilotes. La construcción de la fundación del apoyo 7, la fundación más grande construida sobre el agua para puentes en nuestro país, se dificultó porque después de finalizados los trabajos de pilotaje en julio de 2005, los niveles del río estuvieron muy poco tiempo por debajo de la cota 71,80 requerida para el montaje de la obra falsa; finalmente, en enero



Hinca de camisas para la construcción de pilotes en el agua. (Apoyo 7)

de 2005 se pudo completar el trabajo y fundir este elemento de 3,50 m de espesor y 1.264,3 m<sup>3</sup> en tres etapas.

#### COLUMNAS Y VIGAS CABEZAL

Por ser tan común en nuestro medio, el proceso constructivo de estos elementos no reviste gran importancia para la ingeniería; sin embargo, la forma de las columnas con su sección transversal en I, de ancho variable, y de las vigas cabezal en los viaductos de acceso, así como la forma de las columnas rectangulares huecas, de ancho variable, en el puente principal, llaman la atención porque le imprimen a la estructura una belleza única que muchos diseñadores estructurales han relegado a un segundo plano.

#### VIGAS POSTENSADAS

En el viaducto de acceso de Barrancabermeja se construyeron 12 vigas de 40 m de longitud, 2,40 m de altura y 80 toneladas de peso, de las cuales las 3 vigas de la primera luz fueron construidas directamente en su sitio sobre andamios de carga aprovechando la poca altura de la obra falsa. Las restantes 9 vigas se construyeron sobre el terreno adyacente a cada luz, en los meses de mayo y junio de 2004, y se montaron con grúas de gran capacidad en julio de 2004.



Montaje de vigas en el sector de la plataforma entre apoyos 8 y 12.



Vista completa del montaje de vigas en el sector de plataforma entre los apoyos 8 y 12.

#### VOLADIZOS SUCESIVOS

Para la construcción de los voladizos sucesivos se utilizó un par de carros de avance con una capacidad nominal de 180 toneladas y un alcance máximo de 5 m, los cuales son en la actualidad los carros de avance de mayor capacidad en el país. El procedimiento comenzaba una vez posicionados los carros de avance para la construcción de un par de dovelas simétricas; luego se colocaba el acero de refuerzo, se prolongaban los ductos que alojaban los cables que finalizaban en dovelas posteriores. Enseguida se instalaban los anclajes de los cables que finalizaban en la dovela en construcción. Posteriormente, se cerraba el encofrado lateral de las paredes de la viga cajón y se realizaba el vaciado monolítico y simultáneo de la pareja de dovelas, cuya longitud varía entre 3 y 5 m.

A partir del día siguiente al vaciado se iniciaba la actividad de enhebrar, a través de los ductos previamente instalados, los 19 torones de 5/8" de que constan cada uno de los cables que finalizaban en la dovela, para proceder a su tensionamiento, cuando el concreto alcanzaba una resistencia superior a  $236 \text{ Kg/cm}^2$  (56% de  $f_c$ ). Esto se obtenía habitualmente entre 36 y 42 horas después del vaciado. Así mismo, cuando el concreto

alcanzaba los  $210 \text{ Kg/cm}^2$  (36 horas aproximadas), se liberaba el carro de avance y se iniciaba el proceso del movimiento del carro, hasta posicionarlo para la construcción de un nuevo par de dovelas.

Después del tercer día se iniciaban las labores de colocación de refuerzo, ductos, anclajes y encofrado de las paredes, lo cual podía tardar entre 2 y 3 días. Finalmente, en el quinto o sexto día se realizaba la fundida de la pareja de dovelas, dando inicio a un nuevo ciclo.

A medida que se incrementaba la longitud de dovelas construidas y, por ende, los cables iban siendo cada vez más largos (hasta 196 m), podían presentarse dificultades con el enhebrado de ellos, por la capacidad de empuje de la máquina enfiladora, y con la tensión de los cables, por la capacidad del equipo de bombeo de lechada. Eventualmente, podía ocurrir que la resistencia del concreto no evolucionara adecuadamente, de tal manera que podían retrasarse las actividades que dependían de ella. Por lo demás, el sistema brindaba la confiabilidad de poder predecir con buen grado de aproximación el avance de los trabajos.

La imposibilidad de construir el apoyo 7 del puente durante el segundo se-





Primer plano del apoyo 7 del puente principal.



Aspecto de la luz central del puente principal.

mestre de 2004, debido a los niveles elevados del río en ese periodo que no permitieron realizar la fundación, prolongó la duración de la construcción del puente principal, ya que los carros de avance no tuvieron continuidad después de construir las dovelas de los voladizos del apoyo 6, entre los meses de junio y noviembre de 2004. Sólo hasta el mes de junio de 2005, se pudo iniciar la construcción de las dovelas de los voladizos del apoyo 7, quedando terminado el puente principal el 21 de noviembre de 2005, con el vaciado de la dovela de cierre. Finalmente, el 30 de noviembre de 2005 cruzó el primer vehículo sobre el puente ingresando por una rampa de acceso provisional construida en el estribo del lado Barrancabermeja. ❖



Panorámica parcial del puente desde el costado de Barrancabermeja.

