

SEGUNDA PONTE DO RIO ORINOCO

PRIMEIRO LUGAR EM QUALIDADE

Localizada a 25 km de Ciudad Guayana, no Estado de Bolívar, território leste da Venezuela, a Segunda Ponte sobre o Rio Orinoco é o centro do conjunto de obras desenvolvido pela Construtora Norberto Odebrecht na região. Iniciados em fevereiro de 2001 e com término previsto para agosto de 2006, os trabalhos se constituem na maior obra de engenharia viária na América do Sul e fazem parte do Sistema Viário Ponte Mista sobre o Rio Orinoco, composto ainda por 166 km de rodovias, que incluem trevos rodoviários, cruzamentos ferroviários e viadutos de grande e pequeno porte.

Com a entrada em funcionamento do complexo viário, estará concretizada a tão desejada integração dos Estados de Anzoátegui, Bolívar e Monagas e, além disso, a região de Guayana, que se destaca por possuir grandes reservas de minério de ferro, bauxita, ouro, diamantes, urânio, cobre e zinco, terá facilidade de escoamento da produção para os estados do norte e centro do País por meio de uma linha férrea que futuramente estará ligada a um porto na região do Caribe. Ao mesmo tempo, o projeto permitirá a integração com o Brasil, promovendo o intercâmbio comercial com os Estados do Norte e o Mercosul e possibilitará o acesso de turistas às praias caribenhas da bela costa venezuelana.

O financiamento da obra provém de crédito a exportação de bens e serviços do Banco do Brasil, em um montante de US\$ 384 milhões, e parte é coberta por recursos do Tesouro Nacional do Governo da Venezuela.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A Segunda Ponte sobre o Rio Orinoco, situada na região nordeste da Venezuela, próxima à cidade de Puerto Ordaz, é uma obra rodoferroviária com 3.120m de extensão, situada em região sísmica, classificada como Zona 3, correspondendo a uma aceleração horizontal de $A=0,20g$.

Comporta dois vãos principais de 300m sobre os canais de navegação Norte e Sul e configuração em leque para o estaiamento. Os trechos de acesso apresentam modulação básica de 60m.

O tabuleiro, concebido em estrutura celular contínua em aço, apresenta largura constante de 24,70m por 5,50m de altura, comportando uma via férrea central com 5m de largura, duas pistas rodoviárias com 8m e duas passagens de pedestres com 1,05m cada. Entre as vias são previstas quatro defensas em concreto, com 40cm de largura cada.

A seção transversal segue o conceito de viga mista - estrutura metálica, trabalhando em conjunto com a laje de concreto do tabuleiro. Apresenta um núcleo central celular composto por chapas enrijecidas em todo o seu perímetro e com um vigamento transversal superior,



Arquivo pessoal

*Roberto de
Oliveira Alves x*

estendendo-se além do caixão em balanços laterais que se apóiam em duas mãos francesas que incidem no banzo inferior do caixão. A laje de concreto se apóia sobre estas vigas dispostas transversalmente a cada 3m.

Algumas Características geométricas da ponte

- Modulação de vãos dos acessos - 60 m, com trechos contínuos de até 360 metros;
- Vãos estaiados - 2 vãos de 300m sobre os canais Norte e Sul;
- 38 pilares com seção retangular celular de 3*7m e altura máxima de 41m;
- 4 torres em forma de H para ancoragem dos estais com seção celular variável e altura total de 120,00m;
- 1 pilar de ancoragem em forma de A, pernas inclinadas de seção retangular celular e altura de 40,00m;
- Fundações diretas - sapatas com dimensões variáveis para os pilares P1-P2-P3-P4-P8-P9 e P43.;
- Fundações profundas - estacas diâmetro 200 e 250 cm para cargas de 1.800 tf até 2.500 tf, com os comprimentos variando de 9,0 a 86,0 metros podendo apresentar desconfinamentos de até 25 metros, em função da erosão prevista para o fundo do rio (socavación), no lado norte da Ponte.

Materiais

As características dos principais materiais utilizados no projeto são:

- Concreto - 25 MPa - para estacas, blocos e sapatas.
- Concreto - 30 MPa - para lajes do tabuleiro.
- Concreto - 38 MPa - para pilares.
- Aço Estrutural da Super - ASTM A 588
- Aço Convencional - W 70 - $F_y = 500$ MPa.
- Estai - Cordoalha engraxada 15,0mm - Aço $F_y = 1.770$ MPa.

Dispositivos Complementares

Os aparelhos de apoio para todo o trecho dos acessos são em neoprene fretado com características sísmo resistentes, desenvolvidos e fabricados especialmente pela Freyssinet da Espanha.

Em função de suas dimensões fora do usual, 120*120cm, foi providenciado um ensaio no laboratório da Universidade de Bochun, na Alemanha, que certificou o aparelho.

As principais cargas de dimensionamento para estes aparelhos são :

- Carga vertical máxima - 20.000 kN
- Carga horizontal máxima - 2.060 kN (carga sísmica)

Foram utilizados aparelhos metálicos no trecho estaiado.

Juntas de Dilatação

As juntas de dilatação, do tipo pente, foram também fornecidas pela FREYSSINET e permitem movimentações em serviço de até +/- 350mm, que

ocorrem entre os trechos de acesso e o trecho estaiado. A junta especificada para esta situação foi a WP 600.

Na região dos acessos, as movimentações são menores, tendo sido especificadas as juntas WP 250 e WP 400.

Cabe ressaltar que, embora as juntas sejam especificadas para as variações máximas em serviço, as aberturas de instalação das juntas são determinadas em função dos deslocamentos previstos em caso de sismo, já que as estruturas não podem se chocar, permitindo-se apenas danos nos dispositivos da junta, em função de sua simples e rápida reparação.

Dispositivo de bloqueio

Visando a distribuição das solicitações sísmicas de uma maneira mais uniforme entre todos os pilares dos acessos, foi projetado e instalado, nas juntas de dilatação, um dispositivo de bloqueio, que é acionado para cargas dinâmicas de grande intensidade. Para movimentações lentas, ou dinâmicas de pequena intensidade, o dispositivo é inoperante.

CRITÉRIOS DE PROJETO

Aspectos Sísmicos

Em função de sua localização e das características do sub-solo, determinaram-se os parâmetros necessários à definição do espectro de resposta, para a determinação das solicitações dinâmicas.

- Aceleração máxima do terreno - $A_0 = 0,20$ g
- Classificação de importância - Essencial $A = 1,25$
- Categoria de comportamento sísmico - CS2
- Perfil típico do sub-solo - Perfil S1
- Fator de amplificação do sub-solo $B = 2,50$

INFORME TÉCNICO

Determinação das Solicitações Sísmicas

Para a determinação das solicitações sísmicas de dimensionamento, a norma prevê um fator de redução de resposta R, que corresponde a uma redução das solicitações, ditas estáticas equivalentes, em função da formação de pontos de dissipação de energia dispostos na estrutura. Estas rótulas plásticas formam-se preferencialmente na base dos pilares, onde é previsto um tratamento de confinamento especial às armaduras verticais dos pilares que podem sofrer danos em seu cobrimento sem contudo comprometer o funcionamento global da estrutura.

O fator R, fator de redução da resposta, foi adotado $R = 2,50$ de acordo com a Norma Venezolana para el Diseño Sismorresistente de Puentes.

Esta redução somente é permitida para o dimensionamento dos pilares, em função da possibilidade de reparos. O cálculo dos blocos de fundação, das estacas, das juntas de dilatação e dos aparelhos de apoio é feito sob regime elástico, sem nenhuma redução das solicitações.

O detalhamento das armaduras, o posicionamento das emendas, a disposição e quantificação das armaduras de confinamento, entre outros, seguem as prescrições das normas utilizadas.

Carregamentos Considerados

As cargas foram determinadas e combinadas segundo as normas AASHTO - IRFD - 1998.

- Carga Permanente - DC - carga devida ao peso próprio estrutural referente ao tabuleiro metálico e laje de concreto, com seus respectivos pesos específicos;

- Carga Permanente - DW - carga devida aos elementos secundários: guarda rodas, pavimento asfáltico, lastro, dormentes, trilhos e fixações, passeios, guarda-corpos, tubulações e serviços públicos, com seus respectivos pesos específicos;
- Carga Viva Veicular - LL - cargas distribuídas por faixa de rolamento HL93 e a carga do caminhão padrão HS20-44, esta majorada do coeficiente de impacto dinâmico. Será considerado também o coeficiente de minoração devido a simultaneidade de carregamento das faixas;
- Carga Viva Ferrocarril - LF - considerada a carga referente ao Cooper - 72;
- Carga de Passeio - LP - adotada uma carga de 180 kgf/m², aplicada simultaneamente com a carga viva veicular;
- Frenagem - BR - considerados os percentuais, 25% e 15% referentes às cargas rodoviárias e ferroviárias, respectivamente;
- Impacto Lateral - IL - equivalente a 25% do eixo mais carregado do Cooper - 72;
- Vento - WL e WS - cargas referentes ao vento aplicado sobre a estrutura e sobre a carga accidental;
- Carga de Correnteza - WA - cargas nas estruturas de fundação referentes a uma

- pressão de água equivalente a uma velocidade de 5 nós;
- Variação Térmica Uniforme - TU - $\pm 30^{\circ} \text{C}$;
- Gradiente Térmico - TG - $\pm 10^{\circ} \text{C}$;
- Retração e Fluência - SH e CR - de acordo com as normas;
- Sismo - EQL e EQT - de acordo com os resultados obtidos dos processamentos;

As combinações necessárias para a determinação das solicitações de dimensionamento em estado limite último (ULS) e para as verificações em estado de serviço (SLS), foram determinadas de acordo com as prescrições da AASHTO - LRFD - 1998.

FUNDAÇÕES

Para a grande maioria dos pilares as fundações são profundas, compostas por 384 estacas de 2m e 2,50m de diâmetro, comprimentos variando entre 9,30 e 86m, em sua maior parte embutidas em camada rochosa e projetadas para cargas de trabalho de 1.800 tf a 2.500 tf, respectivamente. Para poucos pilares as fundações são diretas.

As estacas, com camisa de aço de 5/8" de espessura, são cravadas com martelos de vibração e com martelos hidráulicos.

Para a perfuração em rocha, com 1,80 m de diâmetro, são usadas perfuratrizes hidráulicas Wirth que permitem, simultaneamente à perfuração, que a rocha seja analisada e se obtenha a indicação precisa da cota de concretagem, o que proporciona o assentamento seguro dos pilares.

Após a limpeza das camisas, por meio de recirculação de ar e água (air lift), procede-se à colocação da armadura de aço e ao

lançamento do concreto.

A cravação das camisas metálicas e o controle do posicionamento dos flutuantes são feitos mediante um sistema de posicionamento global GPS, que permite aos técnicos determinar, com precisão absoluta, o local exato de construção de cada elemento estrutural. Todo o monitoramento é realizado em uma sala de controle, instalada sobre um flutuante, onde também estão os equipamentos de perfuração e cravação das camisas das estacas.

Para executar as estacas de maior comprimento, de até 86m apoiadas em extrato arenoso, foi necessário empregar o sistema de telescopagem, que consiste em cravar inicialmente uma camisa metálica de maior diâmetro (2,70 m) até uma profundidade previamente estabelecida, efetuar em seguida a limpeza da areia com recirculação de ar e água (air lift) e depois cravar a camisa de menor diâmetro (2,50 m) dentro da anterior, até chegar à cota de projeto.

BLOCOS E PILARES

Os blocos de fundação, com alturas variando de 3,50m a 6m e volumes de até 8.000m³, foram executados com a utilização de pré-lajes de concreto não incorporadas à estrutura do bloco, e apoiadas em anéis metálicos fixa-

dos nas camisas das estacas.

Após o posicionamento, fixação das armaduras e montagem dos painéis das formas laterais estruturadas com perfis de alumínio é feita a concretagem com a utilização de lanças. Para os blocos principais, com dimensões em planta superiores a 1.400 m², procedeu-se a um faseamento de concretagem para melhor controle da temperatura.

Para a execução dos pilares vazados, seção retangular de 3m por 7m e alturas de até 40m, utilizou-se o sistema de fôrmas deslizantes. Este mesmo processo foi utilizado para a execução das 4 torres principais, com alturas de 120 m (equivalente a um a edifício de 40 andares), em forma de H e apresentando os mastros inclinados.

TABULEIRO

O tabuleiro da ponte foi especificado em aço A588, que dispensa pintura, facilitando manutenções futuras. O material é produzido pela Usiminas em Ipatinga (MG) e sua subsidiária, Usiminas Mecânica, foi subcontrata para a fabricação e montagem do tabuleiro, que é dividido em aduelas de 12 m a 24 m de comprimento, montadas e finalizadas em oficinas situadas na região de Guayana e de lá transportadas para o canteiro.

Nos acessos Norte e Sul da ponte, utiliza-se o método dos deslocamentos sucessivos para sua montagem, com a utilização de narizes de lançamento. Cada trecho montado do tabuleiro nas cabeceiras é deslocado sobre uma viga de apoio na linha de lançamento da plataforma, até chegar à sua posição final, onde é suportado por macacos hidráulicos interconectados para controlar sua descida até os aparelhos de apoio. Uma vez apoiada a estrutura, passa-se à construção da laje de concreto, linha ferroviária, pavimentação asfáltica, etc. Foram utilizados painéis de Steel Deck não incorporados para as formas das lajes.

No trecho central, entre os dois vãos estaiados, em uma extensão de 240m, o tabuleiro é parcialmente montado sobre treliça metálica sendo posteriormente deslizado para os vãos vizinhos com a utilização também de um nariz de lançamento.

No trecho estaiado da ponte, as aduelas são transportadas por flutuantes até o local de instalação, onde de forma simultânea e sincronizada à seqüência de instalação dos estais procede-se à sua montagem, utilizando o método de balanço sucessivo somente sobre o vão do canal. Durante o processo de instalação, a laje de concreto que faz parte do controle de cargas



Divulgação

LEGENDA

INFORME TÉCNICO

LEGENDA



Divulgação

é executada de acordo com a seqüência de montagem. A geometria, as tensões finais dos estais e os esforços da estrutura durante a montagem são controlados por um Plano de Faseamento, recorrendo-se a unidades de leituras que transmitem sinais para um computador interconectado em linha direta e tempo real. A análise dos resultados define a pauta da montagem, as tensões dos estais e o posicionamento final de cada uma das aduelas instaladas, para que seja mantida a geometria projetada originalmente para a ponte.

A empresa francesa Freyssinet foi escolhida para fornecer e instalar o sistema de estais, de última geração. O sistema é composto por cordoalhas do tipo monostrand, com ancoragens fixas e reguláveis, sistemas de amortecimento, bainhas de HDPE e tubos antivandalismo.

PROJETO DE SISTEMAS

Atualmente, qualquer obra viária construída para suportar uma alta densidade de tráfego, pode ser considerada como uma artéria vital para o fluxo de pessoas em veículos, individuais ou coletivos, e para o escoamento de bens e produtos em geral. Desta forma, a sua correta operação e manutenção devem ser consideradas como atividades essenciais à segurança de seus usuários e do patrimônio envolvido.

No caso específico de uma obra com a complexidade, a importância e o porte da segunda ponte sobre o Rio Orinoco, que representará uma ligação vital não apenas entre as margens do rio, mas entre importantes regiões econômicas e, em função do alto custo de sua construção, a aplicação de recursos informatizados de supervisão e controle de tráfego, segurança e integridade estrutural, representa um adicional de custo irrisório face ao seu custo total, garantindo uma operação segura e otimizada ao longo de toda a sua vida útil.

As características específicas deste tipo de estrutura viária exigem um projeto especializado para permitir a sua operação em cenários meteorológicos adversos como neblina, fortes ventos, tempestades e outros. Adicionalmente, torna-se necessário existirem planos de ação adequados, a nível regional, para conviver com os cenários operacionais previsíveis. Desta forma, a palavra-chave torna-se o "Gerenciamento" preciso da operação da estrutura viária em questão, com base nos mais modernos recursos de supervisão e controle operacionais e ambientais que a tecnologia disponibiliza hoje, e complementados com uma perfeita integração destes recursos dentro da estrutura operacional da rede viária regional.

Assim sendo, foi executado o projeto básico com a especificação de um sistema de supervisão e controle para a execução destas atividades, com o objetivo de assistir e suportá-las com o uso dos mais modernos recursos disponibilizados pela atual tecnologia. O assim denominado Sistema Integrado de Supervisão e Controle (SISC) para a ponte Mista sobre o Rio Orinoco e seu sistema viário associado, contará com equipamentos de monitoração, supervisão, controle e de comunicações de última geração, permitindo a supervisão e controle a partir de um Centro de Controle Operacional.

Funcionalmente, o SISC será composto pelos seguintes subsistemas principais:

- Subsistema de Monitoração Visual (CFTV);
- Subsistema de Monitoração Estrutural;
- Subsistema de Monitoração Ambiental;
- Subsistema de Supervisão e Controle do Tráfego Rodoviário - ponte e vias de acesso;
- Subsistema de Supervisão e Controle do Tráfego Ferroviário - ponte e rede de acesso;
- Subsistema de Supervisão e Controle do Tráfego Fluvial - sob a ponte e arredores;
- Subsistema de Supervisão e Controle de Utilidades (Equipamentos Auxiliares);
- Subsistema de Segurança Física e Patrimonial;
- Subsistema de Arrecadação de Tarifas (Pedágio);

Todos estes subsistemas serão integrados em um único Centro de Controle Operacional (CCO), que receberá as informações de cada um deles, processando-as e apresentando-as aos operadores em telas de supervisão e controle, além de armazenar as informações de eventos e alarmes e manter um banco de dados operacionais e históricos.

A partir deste CCO será também possível atuar remotamente em elementos de vários destes subsistemas, podendo estas atuações ser resultantes de comandos dos operadores ou de decisões automáticas tomadas pelo Subsistema Integrado de Supervisão e Controle Central. A transmissão destas informações de e para os vários locais de aquisição se dará através de um Subsistema de Transmissão de Dados, Fonia e Vídeo (STDFV).

Em especial, o monitoramento do tráfego fluvial nos canais de navegação que passam sob a Ponte será feito através de câmeras de vídeo móveis, de uso geral, instaladas no topo das 8 torres principais de estaiamento, e por câmeras de vídeo fixas, instaladas nas laterais destas torres, em ambos os lados da Ponte, de forma a termos 2 câmeras voltadas para cada canal em cada lado da Ponte, proporcionando a possibilidade de processamento estereoscópico das imagens combinadas destes pares de câmeras, o que permitirá a medida de distâncias e velocidades, com a geração automática de alarmes e avisos sempre que forem detectados desvios de rota que possam levar a potenciais colisões.

DADOS E QUANTITATIVOS PRINCIPAIS

Geometria

- Extensão total - 3.120 ml
- Largura total - 24,70 ml

- Vão trecho típico - 60ml
- Vão trecho estaiado - 300ml

Quantitativos Principais

Estacas

- Extensão total - 13.600 ml
- Concreto - 48.100 m³

Sapatas e blocos

- Concreto - 70.500 m³

Pilares e torres

- Concreto - 30.500 m³

Tabuleiro

- Aço estrutural A-588 - 26.000 ton.

- Concreto - 20.050 m³

Estais

- Aço fy=1770 MPa - 1.400 ton.

\\EQUIPE TÉCNICA

Contratante

CVG - Corporación Venezolana de Guayana
Eng^o Lucas Valero Niño

Construtora

CNO - Construtora Norberto Odebrecht
Eng^o Estevão Timponi
Eng^o Mauro Martins
Eng^o Milton Takeuchi
Eng^o Johnny Gamboa

Projetistas - Consórcio Brave

Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto Ltda.
Eng^o João Antônio Del Nero
Eng^o Aluizio Fontana Margarido
Eng^o Antônio Carlos Zaitune
Eng^o Roberto de Oliveira Alves
Eng^o Roberto Romani
Eng^o Sérgio de Gouveia Franco
Eng^o José Alves Ferreira Jr.
Eng^o Mario Mori

Lustgarten y Asociados Ing. Consultores SC
Eng^o Paul Lustgarten
Eng^o Mauricio Lustgarten
Eng^o Natan Lustgarten

Parcerias Técnicas

Sistemas de Supervisão e Controle

Procontrol Engenharia de Sistemas Ltda
Eng^o Arnaldo Marchesin
Eng^o Richard Percival Geyer

Estruturas Metálicas

RMG Engenharia
Eng^o Klemens Reher
Eng^o Jörn Jewe Maertens

Consultoria Internacional

LAP - Leonhardt; Andrä und Partner
Eng^o Reiner Saul
Eng^o Karl Humpf