

A MONTAGEM DO CIMBRE DA PONTE DA ARRÁBIDA

JOÃO CUNHA DE ARAÚJO SOBREIRA

ENGENHEIRO CIVIL (U. P.)

A MONTAGEM DO CIMBRE DA PONTE DA ARRÁBIDA

Por JOÃO CUNHA DE ARAÚJO SOBREIRA
ENGENHEIRO CIVIL (U. P.)

1. Características gerais do cimbra

O cimbra da Ponte da Arrábida é um arco metálico destinado a suportar o peso de cada um dos arcos que constituem o sistema de suporte principal da ponte definitiva, construída na sua totalidade de betão armado, segundo projecto do Professor Engenheiro Edgar Cardoso.

Pertence a este bem conhecido e competente técnico a definição da forma geral teórica do cimbra, das suas secções principais e do seu sistema de apoio, elementos estes intimamente ligados com o esquema de cargas resultante do plano de betonagem previsto para os arcos de betão.

Assim, o Professor Edgar Cardoso estabeleceu que o cimbra seria construído com a largura necessária à betonagem de um só arco de betão, tendo por isso de ser ripado lateralmente, após a conclusão deste trabalho, de uma distância de 15 m, a fim de permitir a construção do segundo arco de betão.

De acordo com estes condicionamentos, a Junta Autónoma de Estradas forneceu à «Sécheron Portuguesa» —

encarregada pelo empreiteiro-geral da obra, Engenheiro Pereira Zagallo, de construir e montar o cimbra — a curva da directriz teórica do cimbra, a variação das alturas da sua secção transversal, e ainda a forma desta secção e do sistema de contraventamentos a adoptar.

Ficou assim estabelecido que o cimbra seria formado por três arcos metálicos, designados por «costelas», com o vão de 258 m, uma flecha de 50 m, ligados entre si por contraventamentos longitudinais situados nos planos do extra e intradorso e por contraventamentos transversais de ligação das três costelas (fig.^{as} 1 e 2).

A secção de cada costela é constituída por dois banzos e duas almas, formando uma secção em «caixão», com largura interior de cerca de 0,92 m e uma altura variando de 0,5 m, nas nascenças a 3,30 m, no fecho. A espessura das chapas é respectivamente de 16 mm a das almas e de 20 mm a dos banzos.

Em colaboração com o autor do projecto, a Sécheron Portuguesa estudou e calculou as ligações aparafusadas do cimbra, o sistema de reforço das chapas das almas e bem assim as alterações a introduzir nos contraventa-

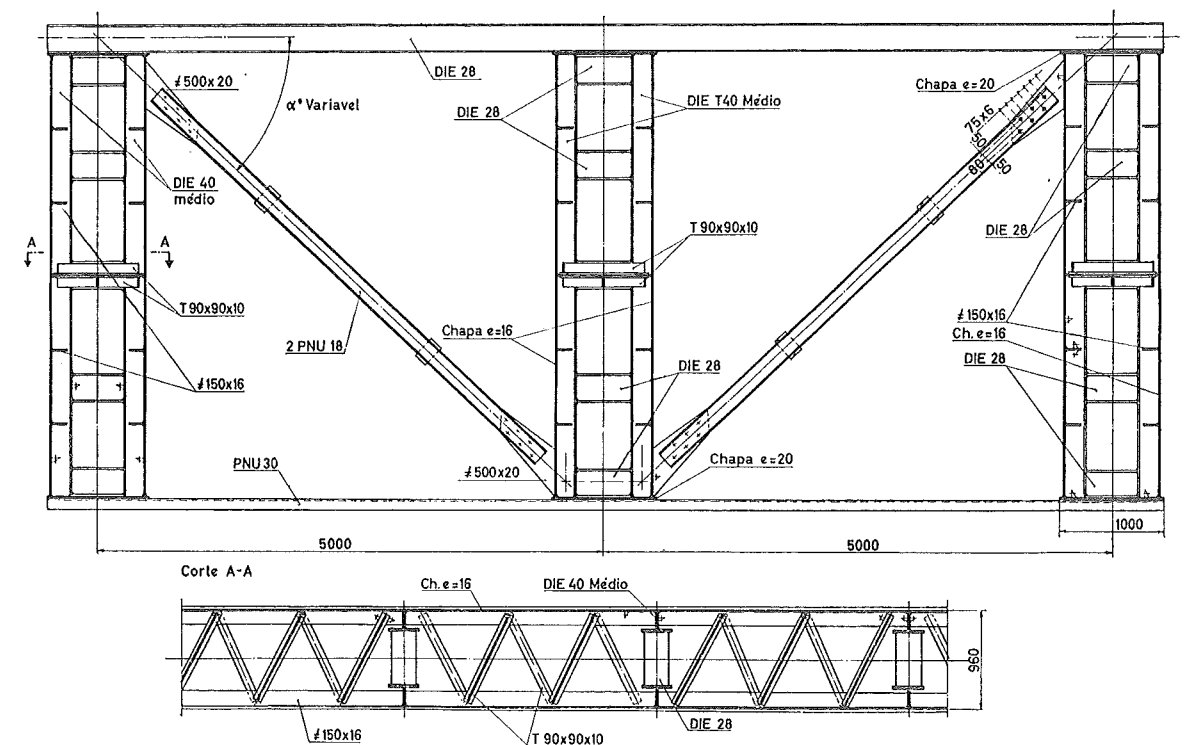


Fig. 1 — Corte transversal do cimbra

SEPARATA DA REVISTA OFICIAL DO SINDICATO NACIONAL DOS CONSTRUTORES CIVIS
N.º 279 — JULHO 1963

TRANSCRIÇÃO DO BOLETIM DA ORDEM DOS ENGENHEIROS
JULHO/AGOSTO 1962

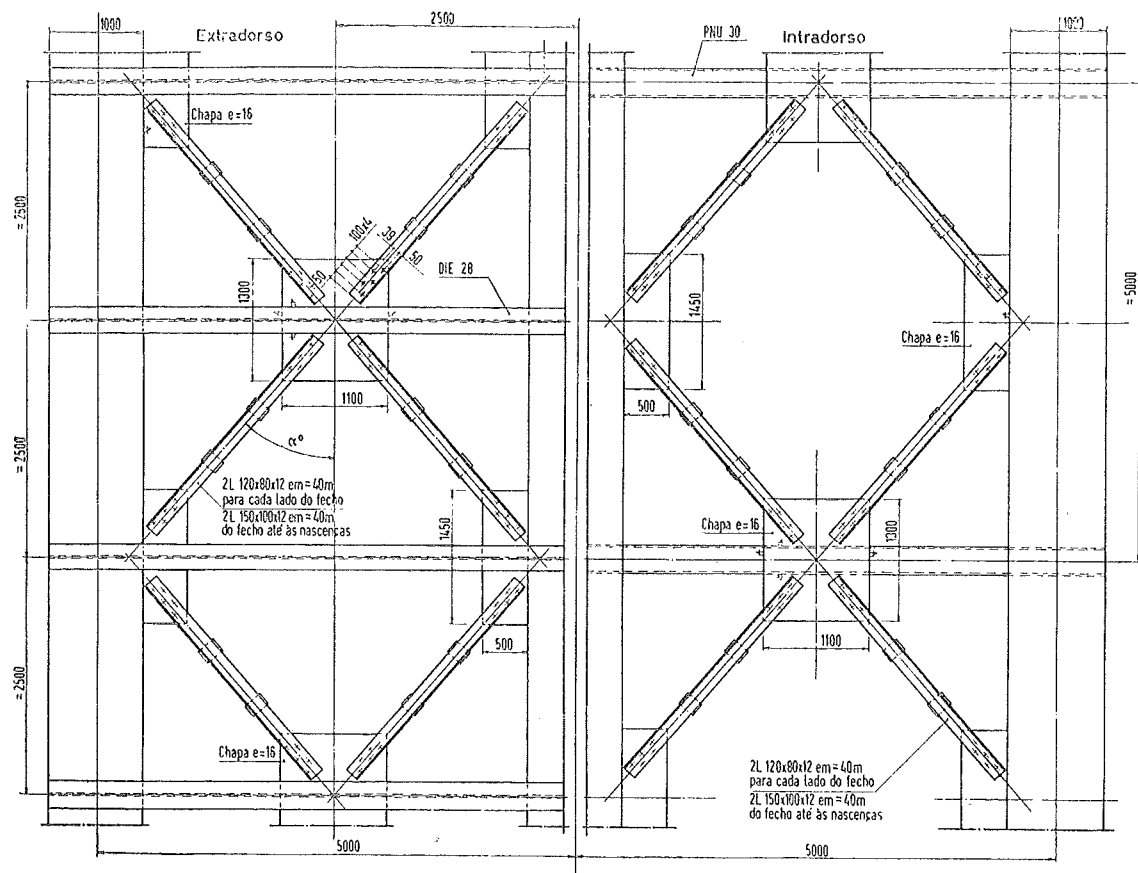


Fig. 2 — Contraventamentos nos planos do extra e intradorso

mentos, alterações estas que tinham em atenção os esforços de montagem.

Uma vez completamente definidas todas as questões de carácter geral, coube à Sécheron Portuguesa realizar o estudo e cálculos da execução e montagem do cimbre, em especial de todos os pormenores relacionados com as operações de montagem, tais como: cabos e suas amarrações, apoios, montagem e elevação do tramo central, fecho do cimbre, etc.

No aspecto construtivo, houve muitas dificuldades a vencer, tendo sido elaboradas centenas de desenhos. A começar na definição de todo o material necessário, passando pela materialização poligonal da curva teórica do cimbre e culminando na ligação aparafusada dos diferentes troços que formam cada costela, muitos foram os problemas e dificuldades a resolver.

Se se disser que os elementos que formam cada uma das três costelas, designados por «caixões», com comprimentos variando entre 14 e 15 m e com pesos que atingiam 30 t, eram ligados entre si por meio de parafusos ajustados, com folga inferior a 0,2 mm, sistema de ligação proposto pela Sécheron Portuguesa em variante ao rebitado inicialmente previsto, e que, em cada junta, chegavam a existir para cima de 300 parafusos, ter-se-á uma ideia dos cuidados que houve de empregar na oficina, para se conseguir realizar, na montagem, facilmente, o aparafusamento destas ligações.

Além da união dos troços, conjunto de três caixões, também todos os contraventos eram ligados às «costelas» por meio de parafusos ajustados. Com excepção dos contraventamentos transversais, todos os outros, travessas e diagonais, que formam os contraventamentos longitudinais do extra e intradorso, foram furados na montagem, após a colocação e fixação por pingos de soldadura. Houve, assim, que fazer, em condições difíceis, para cima de 15 000 furos, com diâmetros de 25 mm e tolerâncias de: — 0; 0,12 mm.

Observa-se, ainda, que não só as almas e os banzos dos caixões eram ligados entre si, mas também todos os reforços longitudinais interiores daquelas, igualmente com parafusos ajustados.

O peso total do cimbre é de cerca de 2000 t. Foi construído de aço Thomas, soldável, com excepção das zonas de concentração elevada de esforços em que o aço era Siemens-Martin.

Em resumo, podemos dizer que, embora a montagem do cimbre fosse a operação mais espectacular e difícil desta realização, só foi possível, com o êxito obtido, em consequência de uma perfeita planificação geral do trabalho, pondo à prova a capacidade global de uma empresa que iniciara a actividade apenas um ano antes de lhe ter sido entregue esta grande realização.

2. Esquema geral de montagem

A fig. 3 representa o esquema geral de montagem, e o desenvolvimento das suas diferentes fases. Em resumo, consta do seguinte:

a) — Montagem dos caixões do primeiro troço com apoio nos blocos das nascenças, realizada com os «derricks» localizados em terra.

O espaço de que dispúnhamos era tão reduzido, que se chegou a cortar um pouco das pernas do «derrick», para ser possível montar o caixão da costela central.

A existência de grande quantidade de canalizações impediu a construção de maciços de amarração do «derrick»; foi por isso adoptada a solução de o montar sobre um dos caixões do segundo troço, deitado sobre o solo, que servia igualmente de apoio às colunas de suporte dos caixões do primeiro troço já montados.

A fotografia da fig. 4 mostra em pormenor esta instalação.

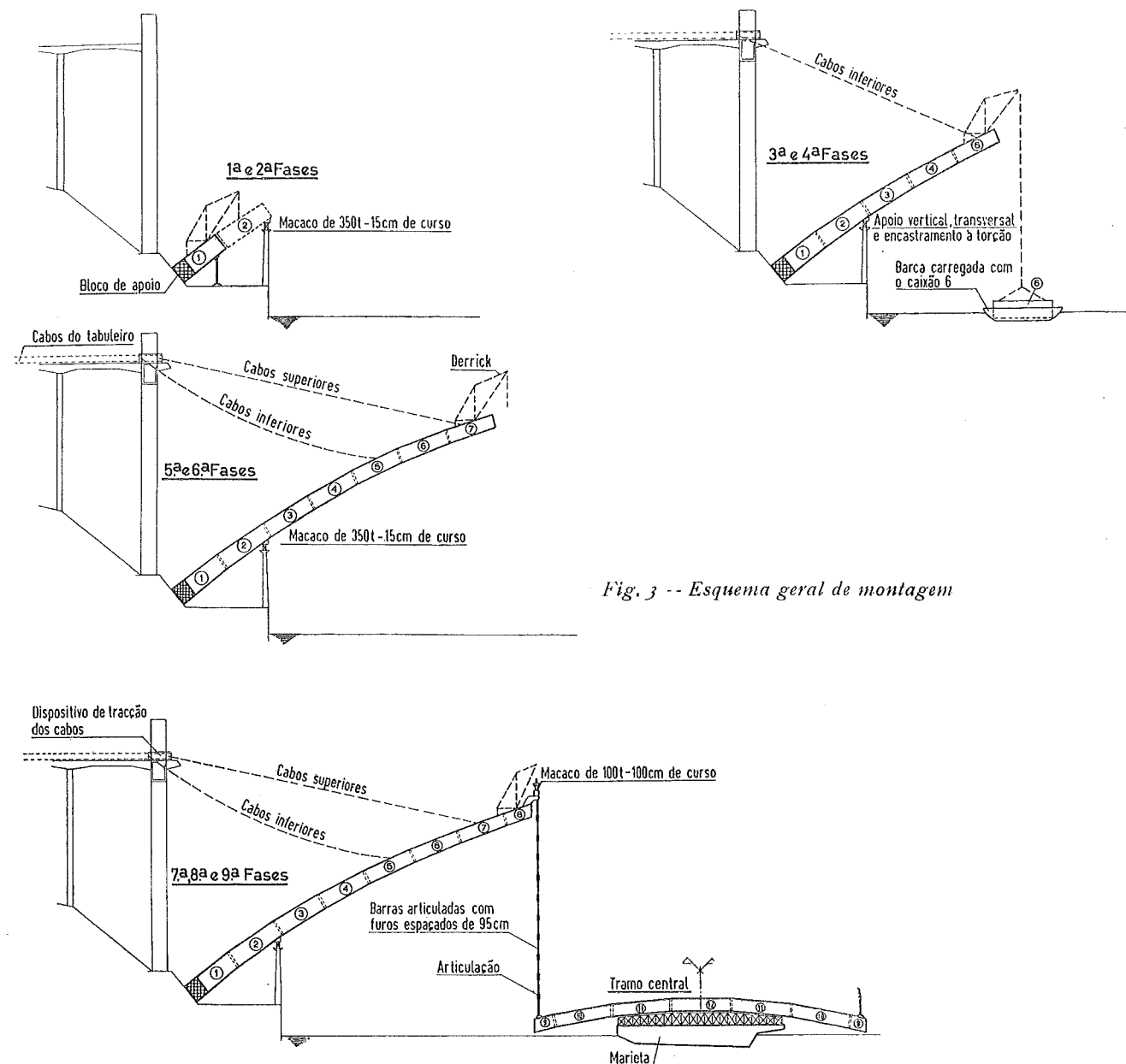


Fig. 3 -- Esquema geral de montagem

b) — Montagem dos caixões do segundo troço, transportados por terra e elevados pelos «derricks» já situados sobre o primeiro troço, fig. 5.

Estes caixões apoiam sobre um pórtico de betão, construído para suporte provisório de montagem e de amarração contra o vento (fig. 6).

Também a montagem deste troço foi muito condicionada pelo espaço disponível, tanto mais que se tratava dos caixões mais pesados e de maiores dimensões.

A passagem do «derrick» para cima do primeiro troço já montado fez-se sem dificuldade de maior, havendo apenas a mencionar o facto de o pesado carro dos guinchos, com mais de 6 t, se ter elevado a ele próprio, rápida e muito eficazmente.

c) — A terceira fase da montagem das consolas corresponde à instalação dos terceiro, quarto e quinto troços, com transporte fluvial de todo o material. Este era retirado e elevado das barcas pelos «derricks» (fig.ªs 7 a 11).

d) — Concluído o quinto troço, procedeu-se à montagem da primeira ordem de cabos de amarração, fase decisiva do lançamento das consolas.

Esta operação foi antecedida da montagem do dispositivo de tracção dos cabos, sobre o tabuleiro do viaduto de acesso à ponte, fig. 12, e bem assim dos cabos que ligam este dispositivo aos cachorros de amarração situados no início do tabuleiro.

e) — A montagem prosseguiu com o lançamento dos sexto e sétimo troços.

f) — Seguiu-se a montagem dos cabos superiores e respectiva instalação da tracção inicial.

g) — Terminou-se o lançamento da consola com a montagem do oitavo troço, procedendo-se, em seguida, à instalação do dispositivo de elevação do tramo central.

h) — A montagem termina com a elevação do tramo central e fecho do cimbre.

A montagem do tramo central foi feita sobre o batelão «Marieta» da Administração dos Portos do Douro e Leixões (APDL) para o efeito

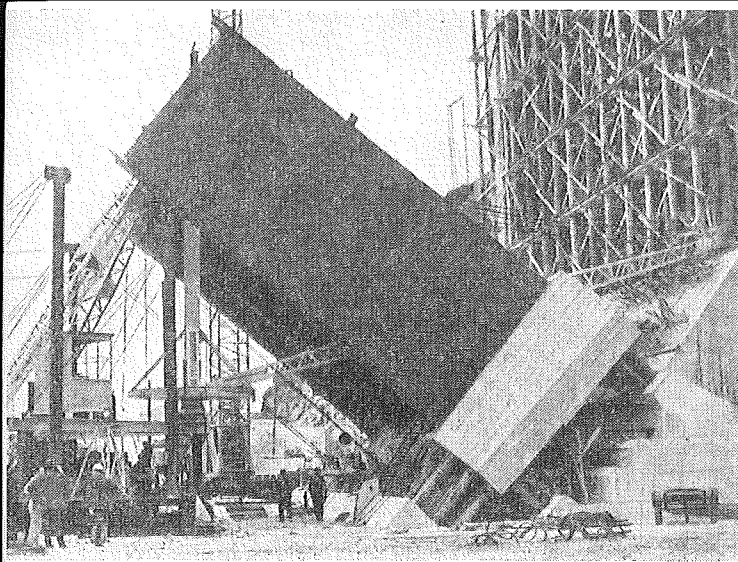


Fig. 4 — Montagem do 1.º troço

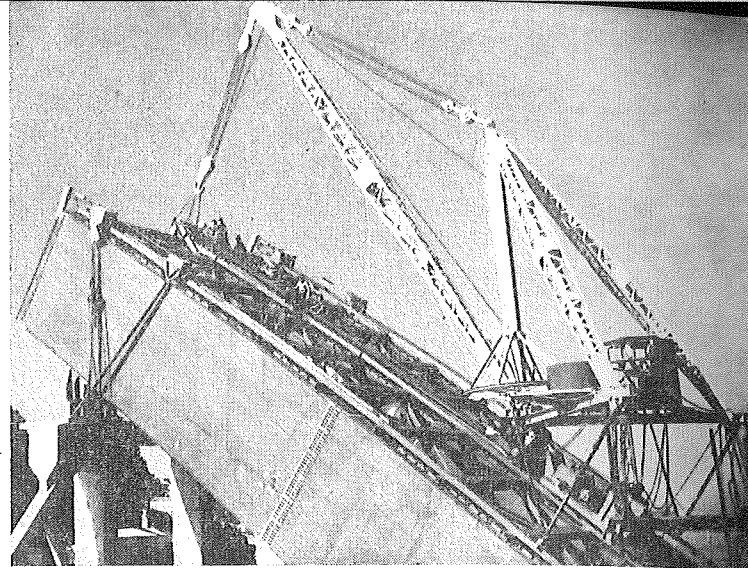


Fig. 5 — Montagem do 2.º troço

acostado à ponta ocidental do cais de Gaia. Foi neste cais que se realizou a armazenagem do material de montagem e o seu carregamento nas barcaças de transporte. Para o efeito, montou-se uma grua giratória, fig. 13, tendo-se aproveitado a estrutura principal já existente no batelão «Marieta», para lançamento dos blocos dos enrocamentos dos molhes exteriores do porto de Leixões. Houve que realizar estudos e cálculos minuciosos para conseguir-se a adaptação desta lança, pois foi preciso muni-la de um «pivot» central, de um «charriot» movendo-se numa via circular com centro neste «pivot», e bem assim alteá-la de forma que a carga das barcaças se pudesse fazer por cima da «Marieta» carregada com o tramo central.

Descrito em linhas gerais o esquema de montagem por nós escolhido e realizado, poderá perguntar-se quais foram as razões que nos levaram a adoptá-lo.

A primeira vista ser-se-ia conduzido a admitir que as consolas poderiam continuar a ser lançadas até que os seus extremos contactassem, solução muito adoptada na montagem de pontes metálicas mais ligeiras.

No nosso caso, porém, esta solução teria sido impossível, pois originaria deformações tais que a tornariam impraticável. O abatimento do cimbri, o seu grande peso (deve notar-se que a carga do arco de betão é superior à carga que existiria se se tratasse de um arco de ponte) e o grande vão a vencer, são factores que pesam muito na escolha do tipo de montagem a adoptar.

Com o sistema escolhido, o peso do tramo central actua com pequena excentricidade em relação ao ponto de amarração dos cabos superiores, o que não sucederia se o lançamento da consola fosse continuado.

Haveria então que lançar novos cabos, com a inerente complicação daí resultante, principal-

mente no que se refere aos sistemas de traccionamento, de amarração, etc.

Por outro lado, as dificuldades relacionadas com alinhamentos, nivelamentos, oscilações e, principalmente, com as deformações, seriam muito maiores do que as existentes na solução adoptada.

Como último argumento, menciona-se a rapidez de execução da obra, pois com a existência de um tramo central foi possível trabalhar-se simultaneamente em três frentes.

Hoje, após a realização do trabalho, tem-se a certeza de que a solução escolhida, pelo seu equilíbrio de dimensões, grandeza de esforços e de deformações, foi, sem sombra de dúvida, a mais indicada.

3. Principais condicionamentos a considerar

Definido o esquema geral de montagem, realizaram-se extensos cálculos analíticos que permitiram conhecer em todas as fases, os esforços e as deformações das consolas e do tramo central. Principalmente o conhecimento das deformações era fundamental para certas operações, sobressaindo entre todas a delicada operação do levantamento do tramo central.

Por outro lado as questões relacionadas com os cabos de amarração dependiam também, fundamentalmente, do cálculo prévio dos deslocamentos sofridos pelos seus pontos de amarração. Para bem se sentir a importância dos cálculos analíticos feitos, bastará informar que, com base neles e a dois anos de distância, se definiu o encurtamento do tramo central em relação ao comprimento teórico

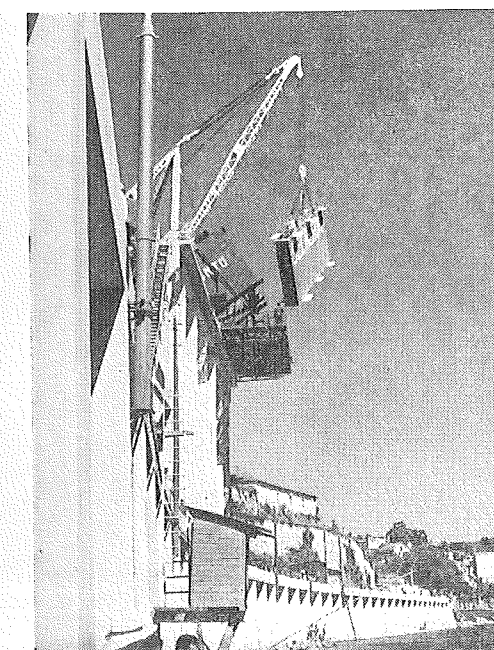


Fig. 10 — Montagem de um caixão do 3.º troço
Posicionamento

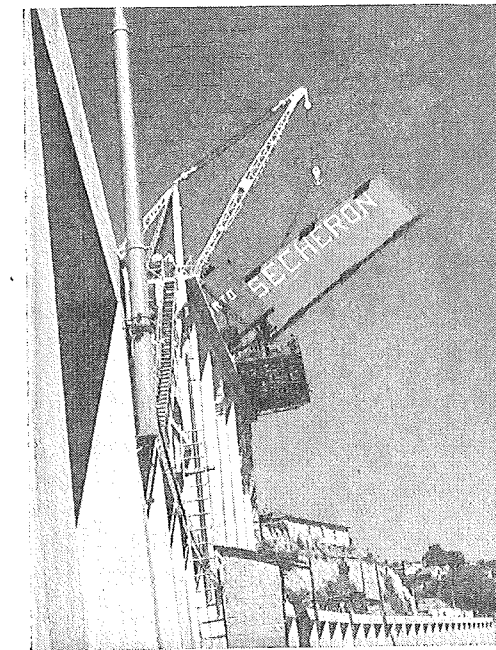


Fig. 11 — Montagem de um caixão do 3.º troço
Aparafusamento

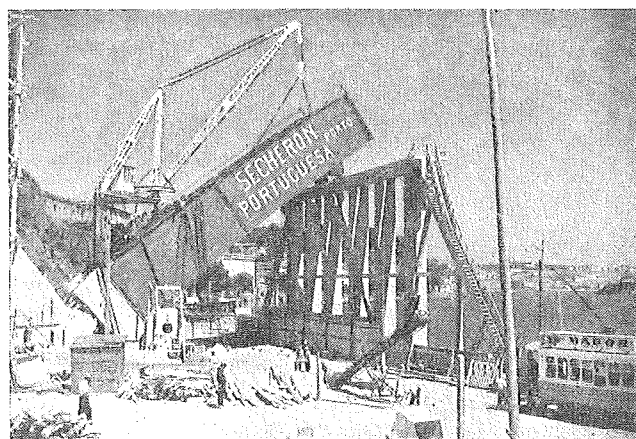


Fig. 6 — Pórtico de betão



Fig. 7 — Montagem de um caixão do 3.º troço—Transporte

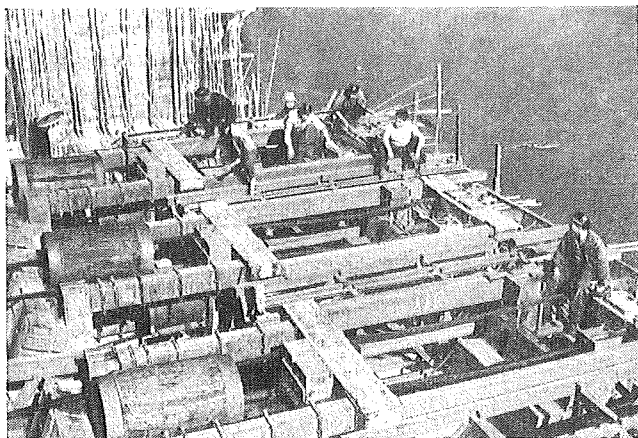


Fig. 12 — Dispositivo de tracção dos cabos
Vista superior

necessário ao seu encaixe no espaço livre entre os extremos das duas consolas. Aliás, isto é um dos aspectos que trataremos mais em pormenor quando se tratar da operação de fecho do cimbre.

Uma das dificuldades mais delicadas da montagem das consolas era, sem dúvida, o problema de as manter a ambas no mesmo plano vertical. Deste facto dependia a possibilidade de poderem ligar-se, por soldadura, as chapas das consolas às do tramo central, uma vez elevado este à sua posição final. Dada a alta rigidez da secção transversal do cimbre, e bem assim a elevada concentração de esforços existente nos extremos das consolas e do tramo central, era praticamente impossível impor deformações locais que permitissem anular quaisquer eventuais desvios. Este facto era tanto mais importante, quanto se tratava de soldar chapas de 16 mm de espessura e, além disso, nos era imposta a não-existência de quebras no plano do cimbre.

A delicadeza desta dificuldade é facilmente compreendida se observarmos que as consolas, com cerca de 78 m em planta cada uma, apoiavam em maeiços não rígidos, assentes em «bolachas» e prumos de madeira (solução imposta pelo futuro descimbramento) e partiam de pontos afastados de 260 m. Além disto, o vento e principalmente o sol, devido à forma da secção transversal, com largas superfícies laterais expostas, criavam esforços laterais muito grandes, que tendiam a desalinhar as duas consolas. Pode dizer-se que foi uma luta permanentemente travada contra aqueles elementos, um dos quais, o sol, foi aliás um bom aliado.

De facto, para centrar o extremo dos caixões sobre o plano axial, à medida que os mesmos iam sendo montados, começava-se por montar as travessas que garantiam o afastamento exacto entre os três caixões de um mesmo troço e, em seguida, instalavam-se as diagonais dos contraventamentos longitudinais, sem, no entanto, se proceder à sua ligação. Conforme o sol se situava a um ou outro lado da consola, assim o extremo dos caixões em montagem se desviava para o sentido oposto. A técnica seria, portanto, aproveitar a passagem dos caixões pelo plano axial e, nesta altura, pingar rapidamente todos os contraventamentos longitudinais, o que conferia à secção total uma rigidez transversal enorme, que mantinha alinhada a consola mesmo quando o sol desaparecia, à custa, evidentemente, de esforços secundários reduzidos, instalados nos contraventamentos. Deste modo se conseguiu chegar ao fim com as duas consolas praticamente situadas no mesmo plano vertical; foi na realidade impressionante verificar-se a perfeita coincidência dos três planos das consolas e do tramo central.

4. Os «derricks» de montagem

Dadas as características especiais desta montagem, executámos igualmente o estudo e construção da adaptação das estruturas de dois «derrick» correntes, de forma a poderem deslocar-se sobre o cimbre e a levantarem os pesados caixões a montar.

Não se tratou de um problema simples, pois a inclinação do cimbre chega a atingir na zona das nascenças cerca de 40° e o conjunto «derrick», guinchos, cabos, etc., pesava cerca de 35 t. Além disto, quando carregado com um caixão, o «derrick» desenvolve reacções de compressão da ordem das 100 t e de tracção da das 70 t; criar amarrações e apoios para estas forças, sobre uma estrutura deste tipo não foi tarefa elementar. O sistema adoptado, consistia num «charriot» central de apoio ao mastro em duas colunas tubulares de apoio às pernas laterais. A amarração ascendente era formada por duas vigas, uma aos extremos destas pernas. Quando o «derrick» se des-superior e outra inferior ao cimbre, amarradas por cabos locais, o que fazia à sua própria custa, apoiava-se, naqueles extremos, sobre umas pernas telescópicas munidas de rodados.

5. Cabos de amarração e seus dispositivos de tracção

Os cabos de amarração foram os elementos fundamentais da montagem do cimbre, podendo afoitamente afirmar-se que todo o êxito verificado se ficou devendo, em grande parte, à forma como a sua acção foi estudada e definida mediante extensos cálculos analíticos.

Vejamos em primeiro lugar a execução, realizada pelo empreiteiro-geral, que chamou a si este trabalho de que se desempenhou com pleno êxito.

Os cabos eram formados por fios paralelos de aço de alta resistência, utilizados em betão pré-esforçado, com uma resistência de 160 kg/mm² e diâmetro 5,04 mm.

O número de fios era: cabos inferiores 91; cabos superiores 151; cabos do tabuleiro 79.

Todos estes cabos, com uma extensão total de cerca de 4300 m, foram executados sobre os tabuleiros dos viadutos de acesso, segundo uma técnica simples e que deu bom resultado: os fios passavam através de uma fleira furada de acordo com a posição em que deveriam ficar;

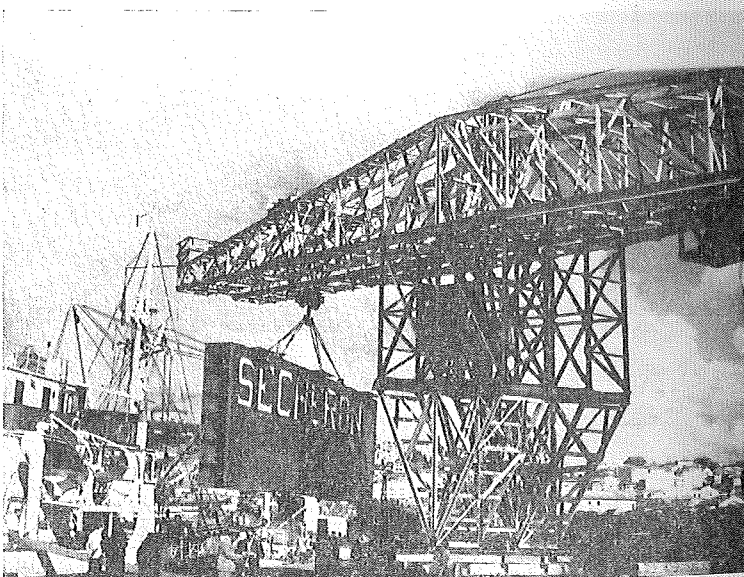


Fig. 13 — Grua giratória

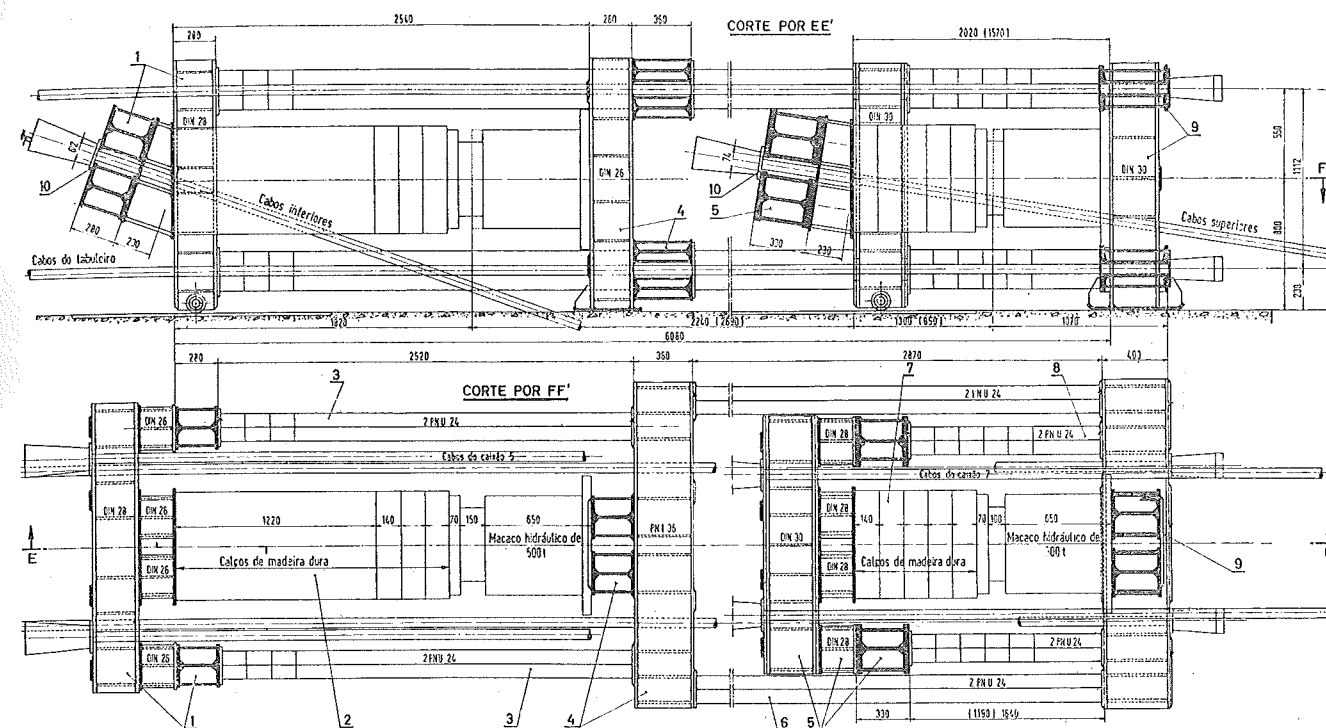


Fig. 14 — Dispositivo de tracção dos cabos

a fleira era puxada, ao mesmo tempo que se aplicavam, com aperto, cintas na parte formada do cabo.

Outro pormenor que mereceu a devida atenção, foi a construção das cabeças de amarração dos cabos, constituídas por peças de aço vazado, torneadas interiormente, dentro das quais, uma vez dobradas as extremidades dos fios e formado o leque destes, foi vertida a mistura de baixo calor de fusão, constituída por: 66 % de chumbo, 21 % de estanho e 17 % de antimónio.

O comportamento destas amarrações foi verificado mediante ensaio conduzido até à rotura do cabo, tendo-se concluído que as cabeças se comportavam perfeitamente, pois a quase totalidade dos fios rebentou fora delas. A cedência do bloco interior das cabeças foi apenas de cerca de 1 mm.

O sistema, inicialmente previsto pelo autor do projecto da ponte para a amarração dos cabos à terra, consistia em fazer esta amarração directamente ao extremo do tabuleiro do viaduto, realizando para o efeito a amarração deste aos cachorros, mediante cabos pré-esforçados. Dentro deste critério, a Sêcheron Portuguesa apresentou a sua solução para o dispositivo de tracção dos cabos. Posteriormente, o autor do projecto modificou a sua ideia inicial, passando o dispositivo de tracção dos cabos a apoiar-se simplesmente sobre os tabuleiros, sendo amarrado aos cachorros directamente por cabos exteriores ao tabuleiro.

O Professor Engenheiro Edgar Cardoso concebeu então o dispositivo da fig. 14, que a Sêcheron construiu e calculou. Dada a responsabilidade deste dispositivo, foi ensaiado na fábrica a vez e meia a carga de trabalho.

A fim de se impedir qualquer deslocamento lateral destes dispositivos projectámos umas estruturas laterais, amarradas ao tabuleiro, que, encaixando aqueles, lhes permitiam apenas os deslocamentos axiais originados pelos efeitos de temperatura (fig. 15).

Para distribuir os cabos dos tabuleiros a toda a largura destes, interessando assim todos os cachorros de amarração previstos, o autor do projecto imaginou umas cancelas rotativas que permitiam simultaneamente a

mudança de direcção dos cabos e as suas variações de comprimento.

Este sistema, embora mais complicado do que o inicial, mas dispensando os cabos pré-esforçados difíceis de instalar devido ao apertado da malha das armaduras das vigas do tabuleiro, comportou-se perfeitamente à altura da sua missão.

A amarração dos cabos ao cimbre fazia-se por apoio directo das suas cabeças sobre travessas que transmitiam às almas das costelas, mediante reforços convenientemente projectados (fig. 16), as tracções dos cabos.

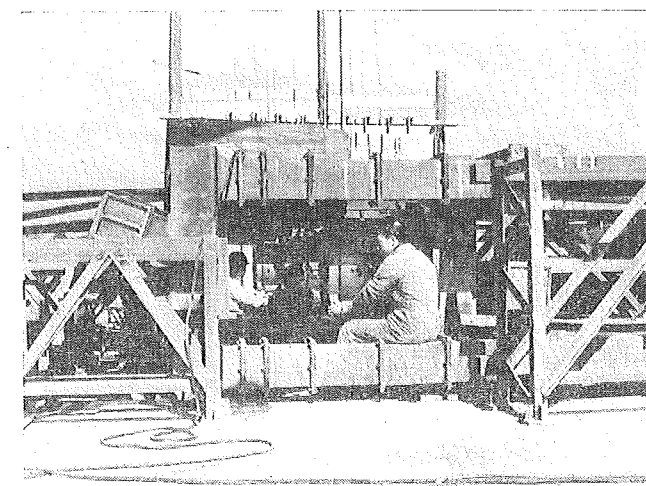


Fig. 15 — Dispositivo de tracção dos cabos
Estruturas laterais

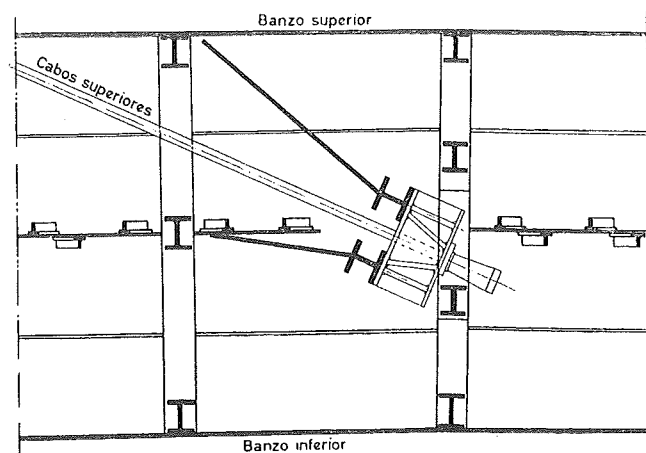


Fig. 16 — Amarração dos cabos do cimbre

O lançamento destes foi feito com facilidade, chegando a montar-se quatro cabos num só dia de trabalho. Esta operação fez-se da forma a seguir descrita.

Começou-se por lançar um cabo transportador, convenientemente traccionado, ao qual se ia ligando por meio de ganchos o cabo a montar. Este era puxado pelo próprio «derrick», de forma que a sua cabeça enfiasse entre os reforços do apoio na costela; eram então montadas e soldadas as travessas de apoio respectivo.

Como cada costela era amarrada por um par de cabos, houve que dar a este o mesmo comprimento, a fim de que trabalhassem igualmente. Verificou-se que a sensibilidade da vista de um observador, examinando simultaneamente as flechas dos dois cabos, permitia uma regu-

lação ao milímetro do comprimento relativo destes. Esta regulação era feita por meio de forras que se colocavam sob a cabeça apoiada nos dispositivos de tracção, para o efeito aliviada por meio de macacos.

Descritos os pormenores de construção e de montagem, passamos a tratar da parte teórica relacionada com a acção dos cabos, o que, julgamos, apresenta aspectos de certo modo originais.

A fim de eliminar a influência da variação do comprimento, originada pela variação da flecha, deixando apenas em causa a originada pelos alongamentos elásticos, os cabos foram montados com uma tracção inicial tal que tornou praticamente nula aquela influência.

Por outro lado, esta forma de proceder permitiu o controlo analítico dos esforços instalados no cimbre, nos seus apoios e nos cabos, que as medidas experimentais mostraram concordar perfeitamente com a realidade. Bastará, por exemplo, dizer que a tracção prevista para cada par de cabos superiores, no momento da suspensão do tramo central, era de 402 t, tendo sido medidas experimentalmente no decorrer dos trabalhos, cerca de 400 t.

Quer dizer, quando se aplicavam os cabos de uma ordem, a consola era deformada para cima da sua posição teórica, mediante a aplicação da tracção inicial que para os cabos inferiores foi de 100 t por costela.

Assim, o extremo da consola com o quinto troço montado, antes da aplicação desta tracção, encontrava-se, segundo o cálculo analítico, 195 mm abaixo da sua posição teórica; após a aplicação da tracção de 100 t, ela passava 32 mm para cima desta posição, havendo, por isso, um deslocamento total de 227 mm. O controlo feito mostrou que o valor real foi alguns milímetros apenas diferente desta quantidade, o que mostra, além do mais, o perfeito comportamento das ligações com parafusos ajustados.

A tracção inicial a dar aos cabos superiores foi objecto de longo e cuidadoso estudo, pois dela dependia praticamente o êxito da operação do fecho do cimbre.

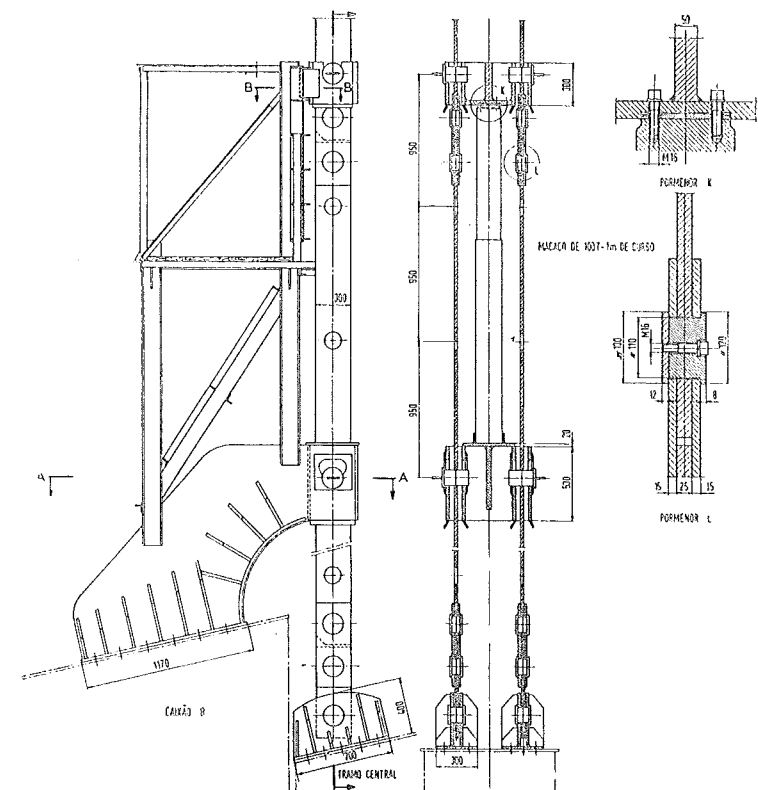


Fig. 18 — Dispositivo de elevação do tramo central

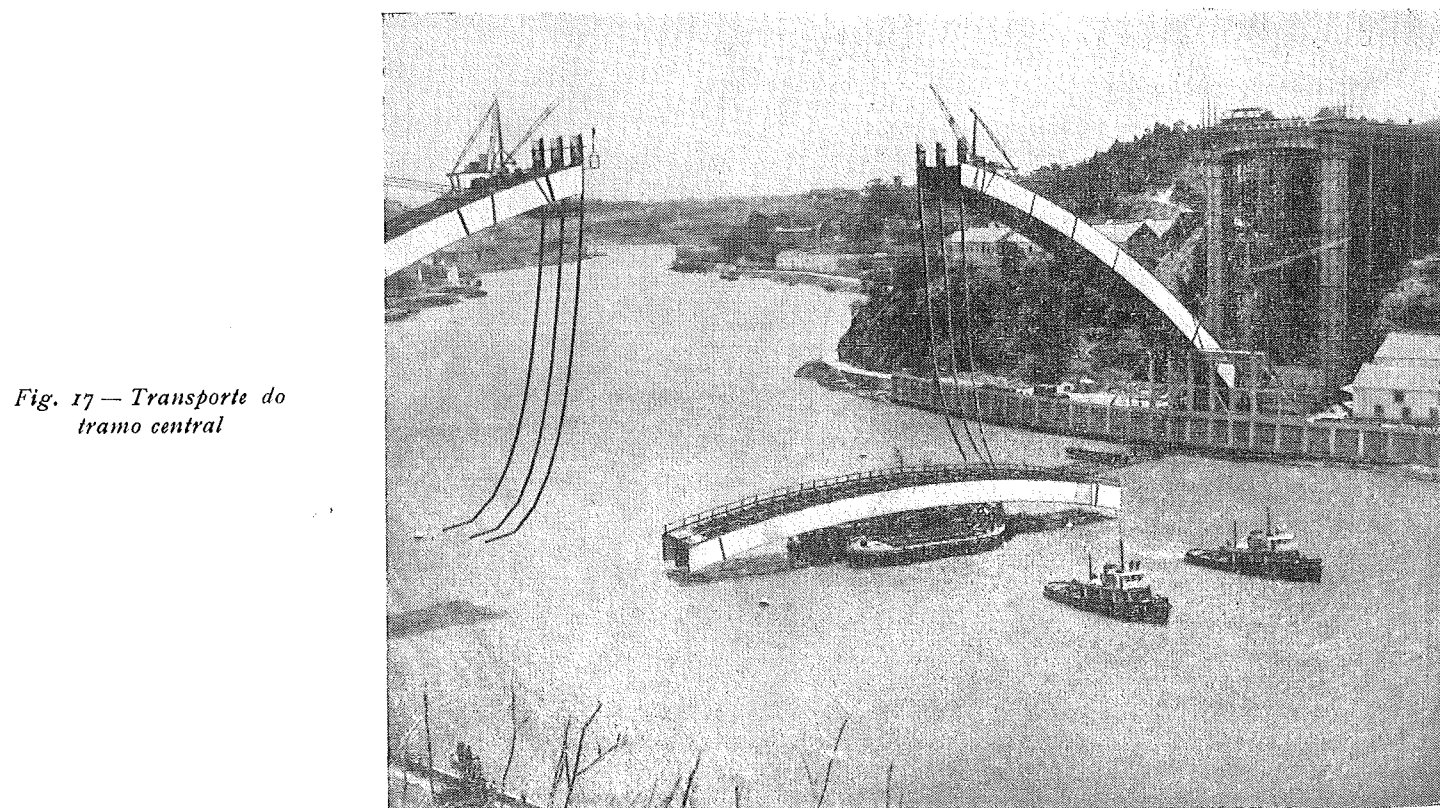
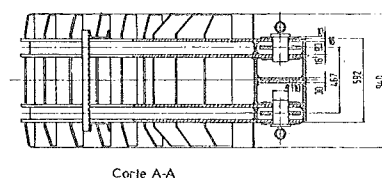
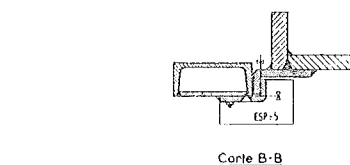


Fig. 17 — Transporte do tramo central

Em primeiro lugar, verificou-se que, com uma tracção inicial de 180 t, os cabos inferiores deixavam praticamente de suportar qualquer esforço, tudo se passando, de facto, como se a consola estivesse apenas suportada pelos cabos superiores. Como para este valor, com a consola montada até ao sétimo troço, sem, portanto, o oitavo troço e as barras de elevação do tramo central, a reacção vertical sobre o pórtico de betão era ainda de compressão, embora pequena, foi aquela tracção instalada nos cabos, nesta fase do lançamento da consola.

Os deslocamentos do extremo desta, segundo o cálculo, são: antes da tracção = + 301 mm (para baixo); depois da tracção: — 223 mm (para cima); a variação total devida à tracção de 180 t é de 524 mm, valor que começa já a mostrar a importância das deformações no estudo e execução deste cimbre.

Após a montagem do oitavo troço e das barras de elevação do tramo central, a tracção dos cabos superiores sobe a 233 t; nesta fase, porém, o cálculo mostrou que o valor mais indicado seria de 235 t por costela, ou seja um total de $3 \times 235 \text{ t} = 705 \text{ t}$ por consola.

A razão disto reside no facto de, com esta tracção, as deformações do extremo da consola (oitavo troço e barras de elevação) serem as seguintes: vertical: — 325 mm (para cima); horizontal: — 139 mm (para dentro). Estes valores, no momento em que o tramo central chegava ao fim da elevação eram os seguintes: vertical: — 71 mm (para cima); horizontal: — 48 mm (para dentro).

Quer dizer: o extremo da consola encontrava-se ainda acima da sua posição teórica e, por isso, em óptimas condições para se proceder ao fecho do cimbre, isto é, à retirada dos cabos.

Foi a partir destes valores e do alongamento do tramo central suspenso que se definiu o comprimento de execução deste tramo, tendo ainda em atenção um possível acréscimo de temperatura ambiente em relação à de fabricação.

Uma vez instalado o tramo central e realizada a articulação das suas ligações às consolas, operação descrita na alínea seguinte, e após a retirada dos cabos, os deslocamentos do extremo de cada consola são: vertical: 73 mm (para baixo); horizontal: 37 mm (para fora). Quer dizer, no final as posições destes pontos em relação às suas posições teóricas são as seguintes: vertical: 2 mm (para baixo); horizontal: — 11 mm (para dentro). Estes valores mostram que com a tracção inicial de 235 t, a posição final do cimbre coincide praticamente com a sua directriz teórica. O cálculo dos esforços finais mostrou, além disto, que os momentos de flexão existentes nas consolas são praticamente nulos e no tramo central também pequenos, sendo o esforço axial praticamente centrado com as secções do arco.

Somos levados a concluir que em montagens deste tipo a regulação dos esforços finais de montagem pode ser obtida muito simplesmente através da tracção inicial instalada nos cabos de amarração. Esta operação requer, no entanto, que estes cabos sejam reduzidos apenas a uma série a fim de que se proceda com simplicidade. Aliás o controlo dos cálculos por medidas experimentais que se vão realizando com o prosseguimento dos trabalhos é muito simples e fácil, permitindo corrigir qualquer deficiência observada.

6. Tramo central

O tramo central é uma enorme peça com cerca de 78 m e 500 t de peso. Instalado sobre a barca «Marieta», acostada ao cais de Gaia, a montagem não levantou problemas especiais, a não ser os relacionados com a estabilidade da barca.

A carga máxima desta, 700 t, foi praticamente atingida, pois ao peso do tramo juntaram-se 150 t de lastro de areia que foi necessário meter nos porões, a fim de baixar o centro de gravidade do conjunto. Observe-se, no entanto, que a carga máxima se situa sobre o convés,

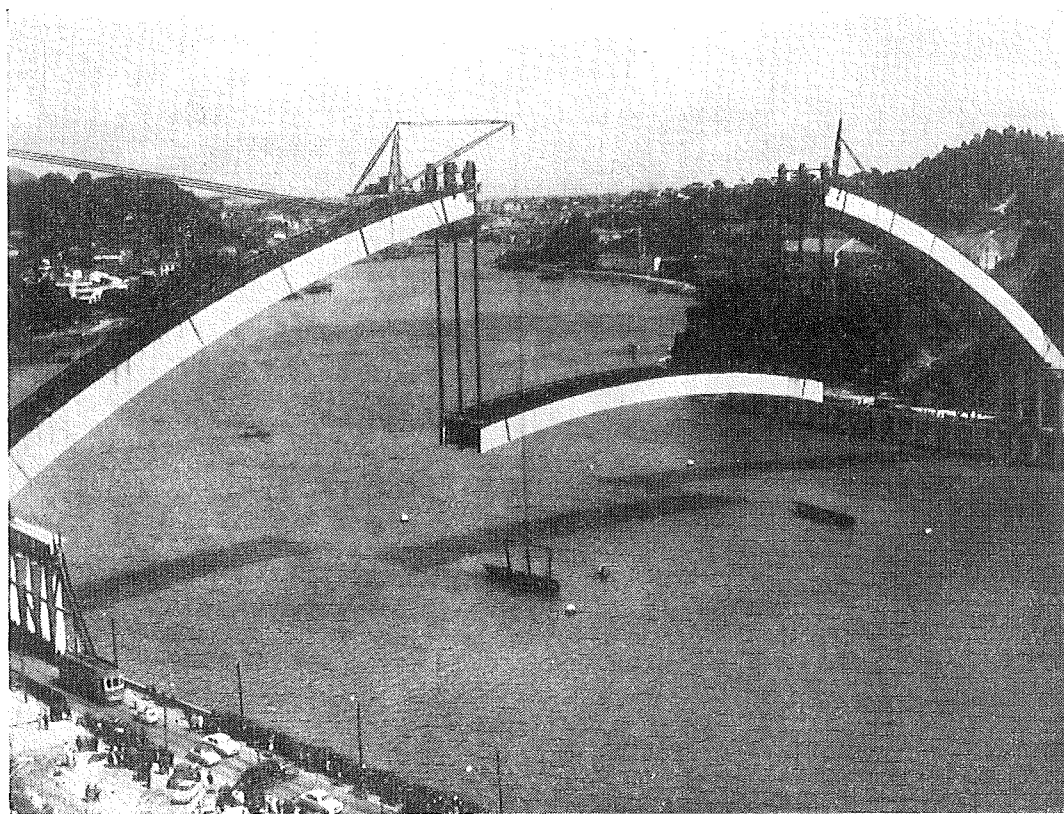


Fig. 19 — Elevação da tramo central

enquanto o centro de gravidade do tramo se encontra 5 m acima deste.

O estudo de estabilidade da barca, realizado pela Sécheron Portuguesa, foi objecto de um parecer do engenheiro construtor naval Rogério de Oliveira, feito a pedido da APDL, entidade que procederia ao transporte do tramo até ao local de montagem. Este estudo e respectivo parecer foi objecto de um despacho da Direcção-Geral da Marinha, que se pronunciou definitivamente pela viabilidade do empreendimento, aconselhando, no entanto, o emprego de dois batelões laterais, amarrados à barca.

Aliás a verificação da estabilidade da barca não interessava apenas ao seu transporte, mas também à montagem do tramo central, pois, durante esta operação, a barca era carregada excêntrica quando se montava um caixão lateral.

O transporte foi, como se disse, realizado pela APDL, que utilizou, para o efeito, três rebocadores, dois à frente e um atrás (fig. 17).

Apesar das condições atmosféricas menos favoráveis do que seria para desejar, pois soprava um vento assaz forte, esta delicada operação foi feita de forma impecável, tendo a barca sido colocada na sua posição transversal ao rio em cerca de 3 h. Nestes trabalhos colaborou eficazmente, também, a Capitania do Porto do Douro, por intermédio dos seus pilotos.

No levantamento do tramo central foram utilizados seis macacos de 100 t de força e 1,0 m de curso, colocados sobre pequenas consolas ligadas aos extremos das consolas do cimbrio (fig. 18).

Sobre a cabeça destes macacos apoiavam umas pequenas travessas que suspendiam, cada uma, um par de barras perfuradas, com furos afastados de 0,95 m. Por

meio de um sistema de cavilhões, que alternadamente apoiavam na cabeça dos macacos ou na consola de apoio destes, o tramo era elevado progressivamente por escadas de 95 cm.

As barras de elevação eram formadas por troços articulados entre si, de forma que, ao fim de cinco elevações, cada grupo de troços era retirado pelo «derrick» (fig. 19), e depositado numa barca, prosseguindo a elevação do tramo durante esta manobra.

Cada grupo de três macacos era accionado por uma bomba eléctrica, instalada na plataforma de montagem. O tempo mínimo conseguido entre duas elevações consecutivas foi de 35 min.

Durante a elevação, o vento, sem ser excessivo, foi, no entanto, um pouco forte. O tramo era amarrado às margens, por quatro cabos, munidos de um sistema esticador que os mantinha em permanente tracção. Deste modo, as oscilações verificadas foram muito reduzidas, não chegando a influenciar o funcionamento do sistema.

Para atender às diferenças de comprimento de cada par de barras, originadas pelas diferenças de aquecimento, a travessa de suspensão apoiava na cabeça dos macacos por meio de uma rótula; além disto, era guiada a toda a altura do percurso por uma estrutura que absorvia todos os esforços transversais, de forma que os macacos apenas estivessem submetidos a forças axiais, por menor muito importante, dado o seu grande curso.

É altura de se chamar a atenção para a grande importância do conhecimento prévio das deformações de toda a estrutura, pois, no final da elevação, as barras não poderiam afastar-se sensivelmente da vertical sem pôr em risco todo o sistema. Foi a partir deste conhecimento, que todos os pormenores foram dimensionados, podendo a Sécheron Portuguesa afirmar, com legítimo orgulho,

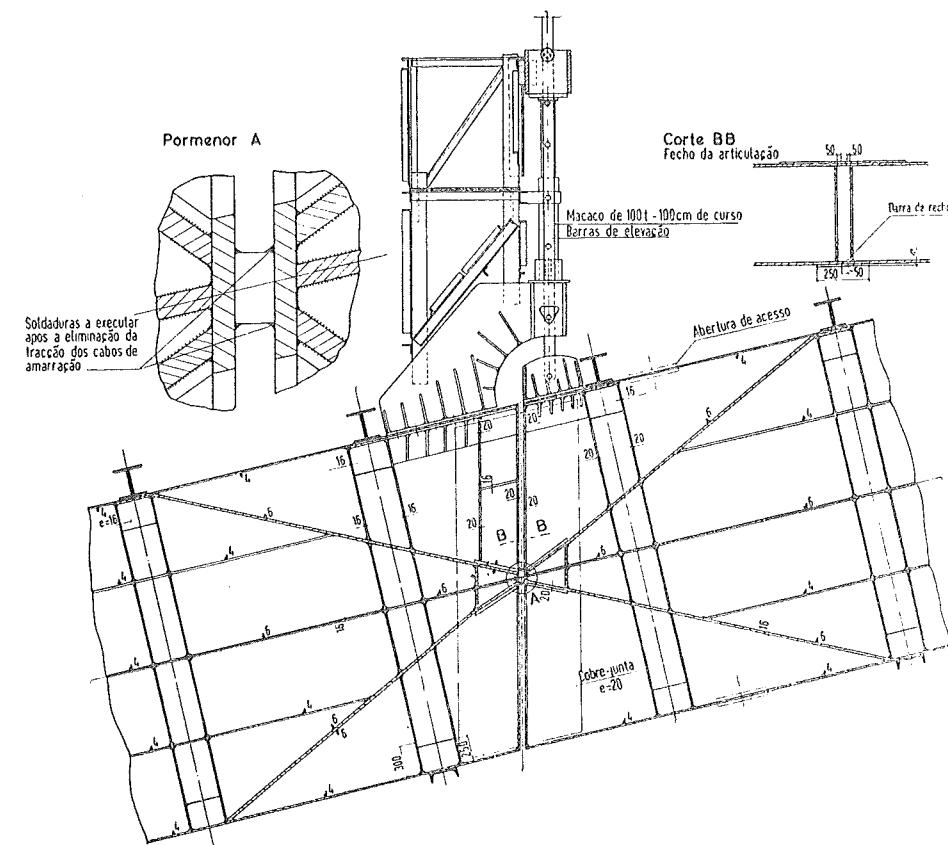


Fig. 20 — Articulação do tramo central

que todo o seu trabalho de profunda meditação, cálculo e previsão a longo prazo, teve plena confirmação real.

Resta, por último, em relação a esta operação, mencionar um outro aspecto de interesse prático. Referimo-nos ao facto de a suspensão do tramo não ser isostática, pois eram três os pontos de apoio, facto este tanto mais importante quanto maiores fossem as variações de comprimento das barras, originadas pelo sol.

Tinha-se previsto que, se os cursos individuais de cada macaco acusassem diferenças relativas incompatíveis com a folga existente entre o curso máximo e o afastamento dos furos, os contraventamentos transversais, que ligavam as três costelas do tramo central, seriam desligados de modo a permitirem uma igual distribuição de carga com a consequente igualização dos cursos dos macacos. Verificou-se, no entanto, que a diferença máxima era apenas de uns 3 cm, inferior por isso aos 5 cm previstos.

7. Fecho do cimbrio

O esquema previsto para esta operação, apresentava, além das vantagens já mencionadas em 2-h) um aspecto muito favorável à eliminação das grandes deformações de montagem.

O problema base que se põe numa montagem desta envergadura, é a possibilidade de se conferir à estrutura a liberdade de deformação, que lhe permita a passagem ao seu estado final, sem a criação de esforços inaceitáveis.

No caso presente tratava-se de permitir que uma estrutura formada por duas consolas e uma viga passasse a comportar-se como um arco, isto é, que os grandes momentos de flexão, instalados principalmente no tramo central, fossem substituídos por esforços de compressão.

A existência de duas articulações entre as consolas e a viga, no momento em que se procedesse à retirada dos cabos, permitiria aquela adaptação através da rotação relativa das duas secções de ligação.

Já se viu, ao referir a questão dos cabos, que a escolha da sua tracção inicial teve influência fundamental na natureza e valor dos esforços instalados no arco biarticulado, após a retirada dos cabos. Quer dizer, a existência das articulações não resolve só por si o problema.

Uma vez realizada a elevação completa do tramo central, foi medido o espaço existente em cada junta, a fim de se executarem em oficina as barras que formariam a articulação (fig. 20). Esta figura apresenta também, em pormenor, o sistema de reforços utilizados nesta zona.

É altura de referir que o encaixe do tramo central no espaço entre as consolas se fez com a folga de apenas uns poucos centímetros de cada lado. Se se observar que o espaço livre entre consolas se reduziu de cerca de 30 cm no momento em que o tramo central foi suspenso, mais uma vez se faz ressaltar a delicadeza do estudo feito.

As barras de articulação foram instaladas às primeiras horas da madrugada, a fim de que o aumento de temperatura iniciasse o primeiro alívio dos cabos. No início da tarde do mesmo dia, os cabos começaram a ser aliviados, tendo-se realizado o alívio completo sem qualquer ocorrência digna de menção, a não ser a verificação de que a rotação das duas faces da articulação foi perfeitamente sensível e de acordo com o previsto.

Restava por último proceder ao encastramento da articulação, por meio de estreitas barras soldadas entre as chapas das almas e completada por cobre-juntas, o que mostra bem o perfeito alinhamento obtido, pois se tratou de ligar entre si chapas com 16 mm de espessura, como atrás já se referiu.

Resta mencionar uma disposição prevista, por medida de segurança, que não chegou a ser adoptada, em face dos resultados obtidos não o justificar.

Tinha-se previsto a possível utilização de macacos hidráulicos instalados no fecho, processo habitual e corrente de fecho de arcos. Para isso, foi previsto naquela zona do cimbrio um sistema de reforços, que permitia o

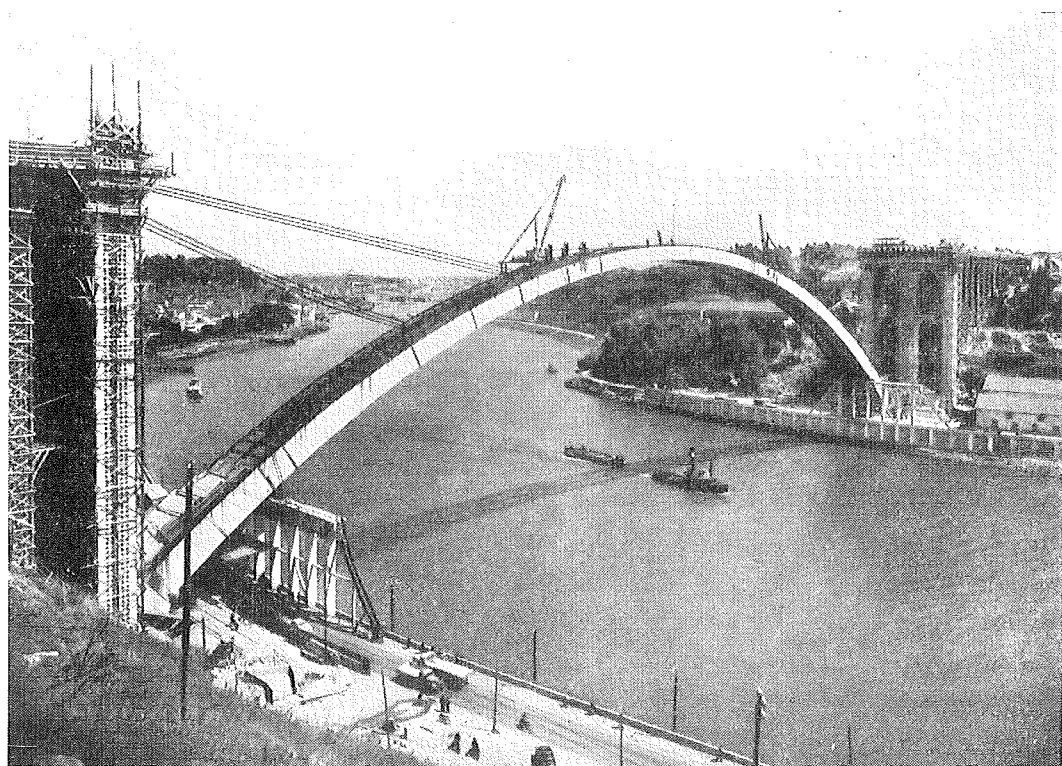


Fig. 21 — Fase final da operação de elevação do tramo central

(Cliché Alvão)

emprego de um par de macacos em cada costela, destinados a corrigirem os esforços de montagem instalados no cimbri, depois de retirados os cabos.

Verificou-se, no entanto, que a técnica utilizada na montagem dispensou, como se disse, esta última operação, que obrigaria a delicadas manobras, tais como o corte do cimbri no fecho.

8. Plano de trabalhos

O plano de trabalhos inicial previa um prazo de sete meses para o fecho do cimbri.

Tendo os trabalhos sido iniciados no dia 10 de Maio de 1960, os mesmos deveriam estar terminados no dia 10 de Dezembro.

Na realidade, o cimbri foi fechado em fins de Julho de 1961, isto é, com mais de sete meses de atraso.

Não interessa referir as razões deste atraso, mas não podemos deixar de mencionar que o mesmo não é da responsabilidade da Sécheron Portuguesa. Aliás é-nos grato poder afirmar que, a partir do momento em que pudemos trabalhar sem qualquer condicionamento estranho ao nosso trabalho, isto é, a partir do lançamento dos pri-

meiros cabos, inclusive, a Sécheron Portuguesa cumpriu, com avanço, o plano de sete meses previsto.

Assim, a parte mais delicada do trabalho, que englobou as montagens dos cabos, dos troços sexto, sétimo e oitavo, de todo o sistema de elevação do tramo central e do fecho do cimbri, foi feito em menos de três meses (na margem esquerda) quando o previsto era de três meses e dez dias. Ao terminarmos esta exposição, não queremos deixar de referir o espírito de sacrifício, a valentia e a competência dos operários portugueses, que, mais uma vez, deram cabal prova da sua valia e capacidade de adaptação técnica.

João Cunha de Araújo Sobreira

ENGENHEIRO CIVIL (U. P.)

Sécheron Portuguesa — Construções Metálicas, S. A. R. L.

Nota — Todos os clichés são de Fernando Moura — excluindo o último