

# Parecer sobre o emprego de tubos de concreto armado nas sub-adductoras da cidade de São Paulo

*José Maria de Toledo Malta*

Eng.<sup>o</sup> Chefe da 3.<sup>a</sup> S. T.

1. — A. R. A. E. tem recebido diversos prospectos suggerindo a conveniencia de serem preferidos os tubos de concreto armado aos de ferro-fundido na construcção das novas sub-adductoras da cidade. *In limine* são considerados fóra de discussão os tubos de aço por se tratar de caso julgado: o seu emprego dentro do perimetro suburbano é condemnavel porque serão infallivelmente atacados e destruidos pela electrolyse, causado pelas correntes subterraneas errantes.

Enfrentam-se portanto, a disputar a primazia, os antigos tubos de ferro fundido e os novos de concreto armado. Sobre os primeiros, conhecidos, empregados e estudados ha mais de um seculo, não se necessita de maiores esclarecimentos. Este parecer será, apenas, uma tentativa para que se possa especificar com alguma segurança quaes os requisitos que se devem exigir dos tubos de concreto armado para que nelles tenham a mesma eficiencia dos de ferro fundido quanto á resistencia, conservação, durabilidade, propriedades hydraulicas, simplicidade de assentamento, impermeabilidade etc..

Omittimos de proposito a comparação do ponto de vista economico. Conquanto seja essa a comparação decisiva, reduz-se a uma simples questão de orçamento que qualquer pessoa poderá fazer em cada caso objectivo, bastando-lhe, para tanto, saber os preços e as quatro operações fundamentaes de arithmetica.

2. — *Classificação.* Não se pode tratar de um modo geral de *tubos de concreto armado*, simplesmente, sem o risco de grave ambiguidade. E' preciso distinguir dois generos que differem tanto um do outro quanto, por exemplo, um arco engastado differe de uma viga recta. O que os caracteriza de modo inconfundivel é o processo empregado em cada genero para se conseguir a estanqueidade. Os primeiros tubos de concreto armado que se construíram foram concebidos exactamente como os de aço. Nesses, a armadura circular metallica deve resistir só por si á totalidade dos esforços de extensão causados pela pressão interna, cabendo ás paredes de concreto unicamente a função de vedar as malhas das armaduras e resistir solidariamente com estas ás flexões, transversal e longitudinal. A espessura do tubo é proporcionada, portanto, a esses dois requisitos: impermeabilidade, e resis-

tência ao peso total da estructura completamente carregada. Para se realizar o primeiro requisito é necessario limitar a uma taxa muito moderada (10 a 20 k/ cm<sup>2</sup>.) o trabalho de extensão que o concreto precisa soffrer para acompanhar as deformações do aço. O resultado alcançado é satisfactorio para pressões até 3 atmospheras no maximo, assim mesmo é indispensavel mão de obra excepcionalmente perfeita, alta dosagem de cimento, revestimento de argamassa impermeabilisante, etc..

Em geral, dispensando-se parte de tantas exigencias, a pressão maxima admissivel não chega a duas atmospheras. Ultrapassados esses limites a exudação se vae fazendo excessiva até o ponto de tornar a canalisação completamente inadequada.

Para se conseguir a estanqueidade alem de duas ou tres atmospheras é necessario, por conseguinte, outro systema de construcção. Pode-se por exemplo dispôr, dentro da espessura do concreto, um cylindro de aço soldado muito delgado: é a *camisa*, empregada primitivamente nos tubos Bonna e ainda usadas em typos mais modernos como o americano Lock-Joint. Em geral a resistencia da camisa não é considerada no calculo do tubo. Quando, porem, as soldas são executadas com meticoloso rigor technico e em seguida ensaiadas uma por uma, pode-se computar a resistencia da camisa, contando que a sua secção não exceda certa fracção da secção total da armadura tensa, digamos 50 a 60%. Com esse recurso conseguem-se tubos estanques para pressões até 8 e mesmo 10 atmospheras.

O mais grave inconveniente da camisa é dividir a parede de concreto em duas camadas completamente separadas. Para que ambas se possam dilatar sem desagregação é necessario prover uma e outra de armaduras distinctas, donde uma estructura assás complicada e de difficil execução. Outro inconveniente vem a ser que o concreto distendido pela pressão interna se torna mal apropriado para resistir solidariamente com o aço á flexão transversal do tubo. A sollicitação final é de flexo-extensão, de modo que a resistencia do concreto á compressão é mal aproveitada, e esse effeito é agravado pela separação em duas camadas independentes.

Consideradas todas essas limitações e esses defeitos dos primitivos tubos de concreto armado, procuraram os constructores resolver a questão da estanqueidade por outro processo, baseado em principio completamente diverso.

Si todo o mal provem da incapacidade do concreto para resistir á extensão, reflectiram elles, disponha-se a estructura de tal forma que o trabalho do concreto seja sempre de compressão para qualquer pressão interna, até o limite da pressão de ensaio. A ideia tem muita analogia com a que domina a fabricação dos canos de armas de fogo e o processo empregado é o mesmo: consiste em comprimir previamente o tubo por meio de uma espirral de aço cuja tensão final se obtem por aquecimento previo ou por estiramento mechanico. Temos assim o systema dos tubos "frettés" a que chamamos per-cintados.

Sobre esse systema, escrevemos o memorial annexo destinado a

fundamentar as conclusões deste parecer. Julgámos util, sinão indispensavel, elaborar esse trabalho porque o assumpto ainda está pouco divulgado na litteratura technica existente. Em todo o caso, si não servir para outra coisa, esse escripto nos dispensa de entrar aqui em maior desenvolvimento da materia.

Resumindo o que atraz foi exposto, verificamos que os tubos de concreto armado dividem-se em dois generos que se podem chamar passivos e activos. Submetidos á pressão interna, o concreto nos primeiros soffre a deformação correlativa passivamente sem contribuir de maneira alguma para a resistencia, a qual depende só e só das armaduras de aço; nos segundos, porem, o concreto resiste, cooperando activamente com o aço á medida que se vae aliviando da sua com' pressão inicial.

3. — *Juntas*. O grande problema imposto pelo emprego dos tubos de concreto para pressões elevadas é o das juntas. A solução correcta é das que desafiam os melhores engenhos e, talvez, ainda esteja por descobrir. A difficuldade provem de ser preciso conciliar requisitos contradictorios. Cada junta deve ser estanque e ao mesmo tempo apresentar certa extensibilidade e certa flexibilidade.

Ora, uma junta de concreto é necessariamente rigida e tanto mais rigida quanto mais estanque.

Eis porque as juntas de concreto depois de reiteradamente experimentadas sempre se mostraram inadequadas. Nos tubos modernos as partes em contacto, que constituem a junta propriamente dita, são sempre de aço, ou de ferro fundido, variando muito os seus detalhes de construção.

Parece que se obtêm dispositivos mais simples e provavelmente preferiveis, tratando cada junta como um elemento de tubo metallico rigidamente ligado ao tubo de concreto adjacente. Melhor será o resultado si taes juntas permittirem ligação com tubos ou peças especiaes de ferro fundido para derivações de ramaes, curvas, reduções etc. . Qualquer que seja o typo de junta é necessario prover á possibilidade de reparações e substituições de unidades de linha.

4. — *Vasamentos*. Uma linha de tubos de concreto perde agua não só pelas juntas, por mais perfeitas que sejam, como acontece a qualquer encanamento, mas tambem por exudação, embora invisivel, atravez das paredes quando não tenham camisa de aço. Nas especificações é necessario por conseguinte, tolerar-se um volume de perdas um tanto maior do que o admittido em linhas metallicas. O quantum por dia depende da pressão de serviço, do diametro e da extenção, bem como do maior grau de impermeabilidade do concreto que se possa alcançar empregando-se os materiaes disponiveis no local. No caso de S. Paulo esses materiaes são a areia e o pedregulho do Tieté e o cimento de Perú.

Apenas para dar uma ideia do volume de perdas tolerado, citamos o exemplo de expecificações americanas, variando de 120 a 330 litros por centimetro de diametro, por kilometro de linha e por dia, em media 200 litros, para pressões entre 1 e 6 atmosferas.

5. — O concreto empregado na fabricação de tubos deve satisfazer os seguintes requisitos: 1.º) granulação do agregado limitada a um diametro maximo de 1 a 1, 5 cm. de modo a permittir o emprego de armaduras de malha reduzida e pequena espessura de paredes; 2.º) composição granulometrica a mais compacta possivel de modo a reduzir ao minimo a porcentagem de vazio, facilitando-se assim a realização da maxima impermeabilidade: 3.º) plasticidade reduzida ao minimo compativel com o processo de manipulação empregado (moldagem, centrifugação etc.); 4.º) factor agua-cimento capaz de assegurar a maxima resistencia e a maxima impermeabilidade a Hingiveis com os materiaes empregados, de modo que se possam reduzir ao minimo as espessuras e portanto o peso dos tubos, as despezas de transporte e o numero de juntas. O concreto será ensaiado segundo as normas do I. P. T. O trabalho de compressão admissivel será no maximo  $2/5$  da carga unitaria de ruptura em cylindros  $15 \times 30$  cm, de 28 dias.

6. — Aço. Nos tubos do primeiro genero deve empregar-se o aço doce geralmente usado em obras de cimento armado obedecendo-se ás especificações correntes para o ferro commercial. É preciso porem, para evitar deformações excessivas, limitar a taxa de trabalho admissivel, por extensão, a... 1000, em vez de 1200  $\text{k/cm}^2$ , no maximo.

O aço empregado nos enrolamentos tensos dos tubos do segundo genero, será o aço estirado de alta resistencia, tendo o limite de elasticidade igual a  $4500 \text{ k/cm}^2$ , no minimo. O maximo trabalho de extensão admissivel no enrolamento será inferior a 80% desse limite.

7. — *Calculos de resistencia.* Fixados os trabalhos admissiveis do aço e do concreto, os calculos de resistencia deverão considerar:

a) a pressão interna de ensaio igual ao dobro da pressão de serviço.

b) a pressão de serviço.

c) a flexão transversal, suppondo-se o tubo solicitado por duas cargas diametralmente oppostas iguaes, cada uma a uma fracção da somma de todas as cargas verticaes applicadas: peso proprio, agua, aterro e sobrecargas.

d) a flexão longitudinal suppondo-se o tubo apoiado no meio do seu comprimento por todas as cargas do item c, suppostas uiformemente distribuidas.

Serão considerados tres casos:

1.º caso: a) Admittindo-se  $\sigma$  F menor ou igual a 0. 8 do limite de elasticidade do aço.

2.º caso: c) + d)

3.º caso: b) + c) + d)

Sobre o item c) precisamos dizer algumas palavras a titulo de justificação. Tivemos o intuito de simplificar quanto possivel o calculo da flexão transversal do tubo, considerando que o calculo exacto, correspondente ás condições, reaes, é absolutamente impraticavel. Por isso, a nosso ver, mais vale suppor um systema de cargas simplificado, embora arbitrario, do que entrar em complicações igualmente afastadas

da realidade. É possível um calculo sufficientemente certo de um tubo solicitado á flexão transversal por um systema qualquer de cargas verticaes symetricas, suppondo-o apoiado sobre a geratriz inferior, ininterruptamente.

Si, porem, o apoio é um berço continuo já não sabemos qual a distribuição das suas reacções, inpondo-se a admissão de uma hypothese qualquer mais ou menos incerta. Vamos admittir que tal hypothese seja perfeitamente accetavel, no caso do berço continuo.

Ainda assim o calculo peccará geralmente pela base porque só se empregam berços descontinuos, em regra um apoio por unidade da tubulação. Si assim é, como se distribue a flexão transversal entre dois apoios contiguos? Eis uma pergunta que ficará sem resposta por muito tempo, talvez para sempre. E, então de que servirá o apparente rigor do tal calculo que se presume mais exacto? A resposta, desta vez, é immediata e porisso mesmo dispensavel. Em summa, já que o calculo da flexão transversal é necessariamente arbitrario, não ha razão transversal e necessariamente arbitrario, não ha razão para se preferir o mais complicado ao mais simples. Neste assumpto a experiencia deve dizer a ultima palavra. Podem ser ensaiados até a ruptura dois tubos: um carregado, quanto possível, de conformidade com as condições reaes, o outro segundo se especifica no item c/. Repetindo-se a experiencia com diametros e systemas de cargas variaveis será possível especificar uma relação entre as cargas de ruptura relativas aos dois ensaios, relação que servirá para se especificar o valor das cargas a ser considerado nos calculos, conforme o item c/).

Em um dos prospectos dos tubos Franki le-se um exemplo de calculo da flexão transversal de um tubo de pequeno diametro em que se applicam as formulas de prismas curvilineos baseadas na hypothese de Bernouilli (secções planas). Como se sabe, essas formulas, deduzidas de uma supposição completamente arbitraria e não confirmada pela experiencia, conduzem a complicações de calculo que só seriam recommendaveis se os resultados fossem mais exactos do que os obtidos com muito menos trabalho pela applicação da theoria geral da flexão simples. Ora isso não está provado e o pouco que se tem observado em ensaios, parece provar o contrario. Esta é a opinião de Föppl, que nos parece muito bem fundamentada. Pelo menos não vemos razão para calcular a flexão transversal dos tubos, qualquer que seja o diametro, por outras formulas sinão as classicas da theoria geral, baseadas na hypothese de Navier (distribuição linear dos esforços unitarios).

*Ensaio.* Do exposto se verifica ser de capital importancia a intervenção dos ensaios de laboratorio nas especificações. Concluiremos que a R. A. E. não pode dispensar a collaboração do I. P. T. assistido pelo engenheiro da R. A. E. encarregado dos serviços de ensaios, padronização e especificações para recebimento de materiaes. Tendo apenas suggerido os pontos que mais precisam ser elucidados, reconhecemos que compete áquelle Instituto organizar, de accôrdo com os objectivos da Repartição, o programma definitivo das experiencias.