

Exemplo 1.14:

Uma caixa de torção de uma asa tem uma abertura no intradorso entre as estações 2000 e 3000 e suporta forças de sustentação e de arrasto que são constantes entre as estações 1000 e 4000 como mostra a *figura 1.27(a)*. Determinar os fluxos de corte nos painéis do revestimento e nas almas das longarinas e também as cargas nas nervuras das estações 2000 e 3000. Assumir que todos os momentos fletores são resistidos pelas mesas das longarinas e que o revestimento e as almas das longarinas suportam apenas o corte.

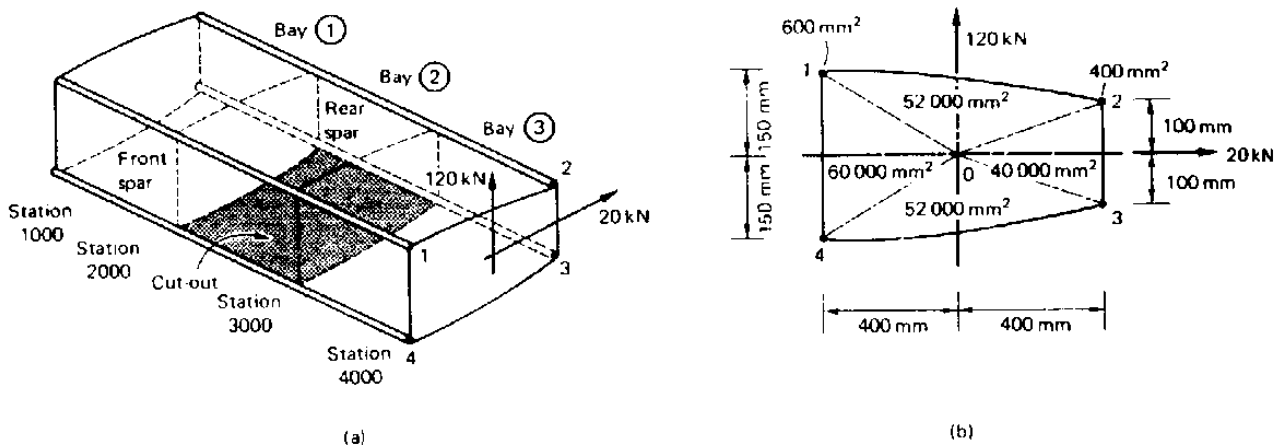


Figura 1.27 Caixa de torção da asa do exemplo 1.14.

A maneira mais simples é determinar primeiro os fluxos de corte na casca e nas almas como se a caixa de torção fosse contínua e depois aplicar um fluxo de corte igual mas oposto em volta dos limites da abertura. Os fluxos de corte na caixa de torção sem a abertura vão ser os mesmos em cada compartimento e são calculados usando o método descrito em Estruturas Aeroespaciais I. Isto resulta na distribuição do fluxo de corte representado na *figura 1.27-1*.

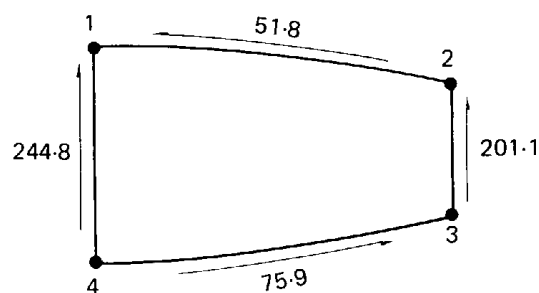


Figura 1.27-1 Distribuição do fluxo de corte [N/mm] em qualquer estação na caixa de torção da asa do exemplo 1.14 sem a abertura.

Considere-se agora o compartimento 2. Aplicando um fluxo de corte de 75,9 N/mm na parede 34 no sentido oposto àquele mostrado na *figura 1.27-1* reduz o fluxo de corte nesta parede para zero e, com efeito, restaura a abertura no compartimento 2. Os fluxos de corte no resto das paredes do compartimento com a abertura não serão mais equivalentes às cargas aplicadas

externamente sendo, por isso, necessárias algumas correcções. Considere-se o compartimento com a abertura (*figura 1.27-2*) com o fluxo de corte de 75,9 N/mm aplicado no sentido oposto ao da *figura 1.27-1*. Os fluxos de corte de correcção q'_{12} , q'_{32} e q'_{14} podem ser obtidos usando o equilíbrio estático. Assim resolvendo as forças horizontalmente tem-se

$$800q'_{12} = 800 \times 75,9$$

isto é $q'_{12} = 75,9$ N/mm.

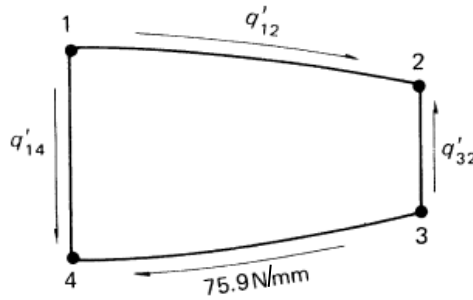


Figura 1.27-2 Fluxos de corte de correcção no compartimento com a abertura da caixa de torção da asa do *exemplo 1.14*.

Resolvendo as forças verticalmente

$$200q'_{32} - 50q'_{12} - 50 \times 75,9 - 300q'_{14} = 0 \quad (i)$$

e tirando momentos em torno de O na *figura 1.27(b)* obtém-se

$$-2 \times 52000q'_{12} + 2 \times 40000q'_{32} - 2 \times 52000 \times 75,9 + 2 \times 60000q'_{14} = 0 \quad (ii)$$

Resolvendo as *equações (i) e (ii)* dá

$$\begin{aligned} q'_{32} &= 117,6 \text{ N/mm} \\ q'_{14} &= 53,1 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Os fluxos de corte finais no compartimento 2 são obtidos adicionando q'_{12} , q'_{32} e q'_{14} aos fluxos de corte da *figura 1.27-1* resultando na distribuição mostrada na *figura 1.27-3*. Alternativamente estes fluxos de corte poderiam ser obtidos diretamente se se considerasse o equilíbrio do compartimento com a abertura quando sujeito à ação dos fluxos de corte aplicados.

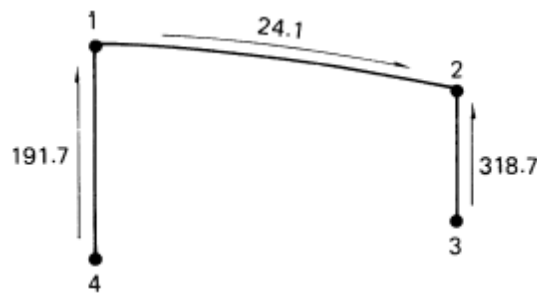


Figura 1.27-3 Fluxos de corte finais [N/mm] no compartimento com a abertura na caixa de torção da asa do *exemplo 1.14*.

Os fluxos de corte de correção no compartimento 2 (*figura 1.27-2*) irão modificar as distribuições dos fluxos de corte nos compartimentos 1 e 3. Os fluxos de corte a ser aplicados aos da *figura 1.27-1* para o compartimento 3 (os do compartimento 1 serão idênticos) podem ser determinados calculando as cargas nas mesas que correspondem aos fluxos de corte de correção no compartimento 2.

Pode ver-se das magnitudes e das direcções destes fluxos de corte de correção (*figura 1.27-2*) que em qualquer secção no compartimento 2 as cargas nas mesas superior e inferior da longarina dianteira são iguais em magnitude mas opostos no sentido; o mesmo se passa com a longarina traseira. Assim os fluxos de corte de correção no compartimento 2 produzem um sistema de cargas nas abas idêntico àquele do exemplo do compartimento com a abertura na estrutura da asa do *exemplo 6.13*. Daqui segue-se que estes fluxos de corte de correção produzem flexão diferencial das longarinas dianteira e traseira no compartimento 2 e que os momentos fletores das longarinas e consequentemente as cargas nas mesas são nulos nos pontos médios. Assim, na estação 3000 as cargas nas mesas são

$$\begin{aligned}
 P_1 &= (75,9 + 53,1) \times 500 = 64500 \text{ N} && \text{(compressão)} \\
 P_2 &= (75,9 + 117,6) \times 500 = 96750 \text{ N} && \text{(tração)} \\
 P_3 &= 96750 \text{ N} && \text{(compressão)} \\
 P_4 &= 64500 \text{ N} && \text{(tração)}
 \end{aligned}$$

Estas cargas das mesas produzem fluxos de corte de correção q''_{21} , q''_{43} , q''_{23} e q''_{41} nos painéis da casca e nas almas das longarinas do compartimento 3 como mostra a *figura 1.27-4*.

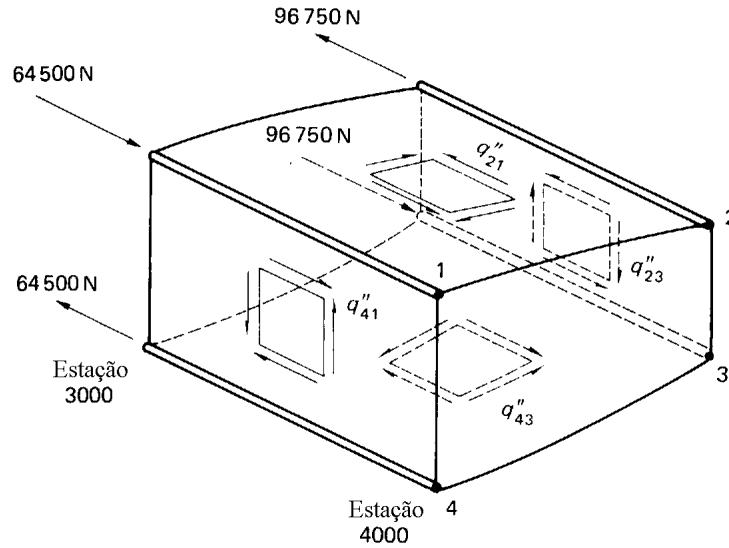


Figura 1.27-4 Fluxos de corte de correção no compartimento 3 da caixa de torção da asa do *exemplo 1.14*.

Assim, para equilíbrio na mesa 1, tem-se

$$\begin{aligned} 1000q''_{41} + 1000q''_{21} &= 64500 \\ \Leftrightarrow q''_{41} &= 64,5 - q''_{21} \end{aligned} \quad (iii)$$

e para equilíbrio na mesa 2, tem-se

$$\begin{aligned} 1000q''_{21} + 1000q''_{23} &= 96750 \\ \Leftrightarrow q''_{23} &= 96,750 - q''_{21} \end{aligned} \quad (iv)$$

O equilíbrio no sentido da corda em qualquer secção do compartimento 3 é dado por

$$\begin{aligned} 800q''_{21} &= 800q''_{43} \\ \Leftrightarrow q''_{43} &= q''_{21} \end{aligned} \quad (v)$$

Em alternativa a esta equação também se podia usar o equilíbrio vertical na secção do compartimento 3

$$300q''_{41} + 50q''_{43} + 50q''_{21} - 200q''_{23} = 0$$

mas esta seria equivalente a (v) e, por isso, redundante.

Tirando momentos em torno de O na *figura 1.27(b)* obtém-se

$$2 \times 52000q''_{21} - 2 \times 40000q''_{23} + 2 \times 52000q''_{43} - 2 \times 60000q''_{41} = 0 \quad (vi)$$

Resolvendo simultaneamente as equações (iii), (iv), (v) e (vi), obtém-se

$$\begin{aligned} q''_{21} &= q''_{43} = 38,0 \text{ N/mm} \\ q''_{23} &= 58,8 \text{ N/mm} \\ q''_{41} &= 26,6 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Adicionando estes fluxos de corte de correção àqueles mostrados na *figura 1.27-1* resulta nos fluxos de corte finais no compartimento 3 como mostra a *figura 1.27-5*.

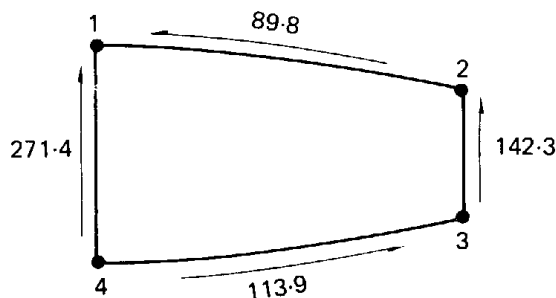


Figura 1.27-5 Fluxos de corte finais no compartimento 3 (e 1) da caixa de torção da asa do *exemplo 1.14*.

As cargas nas nervuras nas estações 2000 e 3000 são determinadas como anteriormente, adicionando algebricamente os fluxos de corte nos painéis da casca e nas almas das longarinas em cada lado da nervura. Assim, na estação 3000 obtêm-se os fluxos de corte que atuam em volta da periferia da nervura como mostra a *figura 1.27-6*. Os fluxos de corte aplicados na nervura da estação 2000 serão iguais em magnitude mas opostos no sentido.

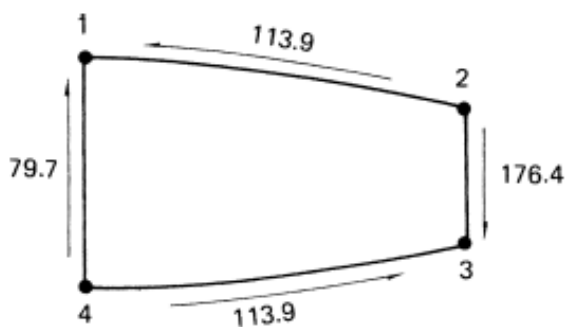


Figura 1.27-6 Fluxos de corte [N/mm] aplicados na nervura da estação 3000 da caixa de torção da asa do *exemplo 1.14*.

Note-se que neste exemplo apenas se conhecem as forças de corte aplicadas na caixa de torção entre as estações 1000 e 4000. Não se pode, por isso, determinar os valores finais das cargas nas mesas das longarinas uma vez que não se conhecem os valores dos momentos fletores nestas posições causadas pelas cargas que atuam noutras partes da asa.