

DETERMINAÇÃO DE CONDIÇÃO DE ACIONAMENTO DE FREIO DE EMERGÊNCIA TIPO "VIGA FLUTUANTE" DE ELEVADOR DE OBRAS EM CASO DE QUEDA DA CABINE SEM RUPTURA DO CABO

Miguel C. Branchtein,

Delegacia Regional do Trabalho no Rio Grande do Sul

I. INTRODUÇÃO

O elevador a cabo é um dos equipamentos de uso mais difundido no Brasil para transporte vertical de materiais e pessoas em obras de construção civil. Um dos equipamentos de segurança desse tipo de elevador é o freio de emergência, destinado a deter a cabine em caso de queda acidental.

Alguns dos freios de emergência existentes são acionados quando a velocidade da cabine ultrapassa determinado valor. Em outros, como nos freios tipo "viga flutuante", o acionamento se dá quando há uma diminuição na tensão do cabo de tração. Nesse tipo, quando o cabo se rompe, a tensão no mesmo cai a zero e o freio é acionado, interrompendo a queda da cabine.

Porém, há casos em que há queda da cabine sem ruptura do cabo. Nessas situações, é possível haver tensão residual no cabo de valor tal que o freio não seja acionado. O presente trabalho busca determinar em que condição isso ocorre.

II. O SISTEMA DO ELEVADOR A CABO

O elevador a cabo consiste em uma torre, em cujo interior se move uma cabine, tracionada por um cabo de aço, que se enrola no carretel de um guincho, movido por um motor elétrico.

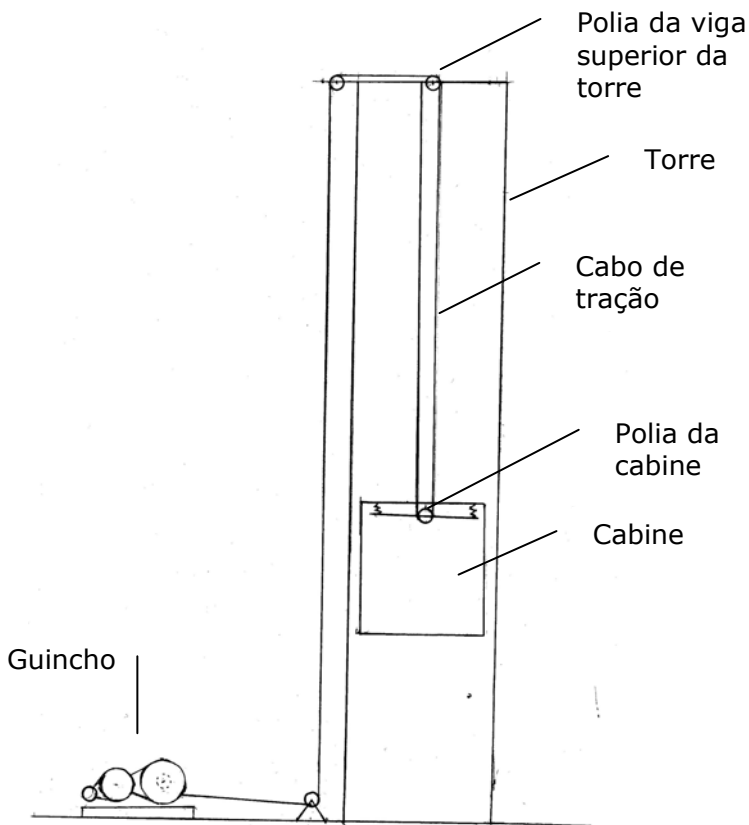


Fig. 1 – Elevador a cabo

Há um sistema de polias, em que uma fica na cabine e outra, no topo da torre, de forma que o peso da cabine é dividido por dois, diminuindo assim a tensão no cabo e a força a ser feita pelo guincho. Há ainda outras duas polias, com função apenas de mudar a direção do cabo.

O guincho consiste em um carretel, em que é enrolado o cabo, e que é acionado por um motor elétrico. A rotação do motor se transmite ao carretel por intermédio de um sistema de transmissão que pode ser composto por engrenagens e correias.

Nos guinchos de engrenagem, o sistema de transmissão tem uma redução tal que, juntamente com a resistência do motor, se opõe à queda da cabine, de modo que esta só desce se o motor for acionado.

A queda descontrolada da cabine pode ocorrer nos seguintes casos:

- a) ruptura do cabo, ou;
- b) liberação do carretel, devido à ruptura do seu eixo ou de um dos componentes do sistema de transmissão.

III. O SISTEMA DO FREIO TIPO "VIGA FLUTUANTE"

O sistema do freio de emergência é composto por dois freios, situados nas laterais da cabine, que atuam sobre dois cabos de aço dispostos ao longo de toda extensão vertical das faces laterais da torre.

No sistema de freio acionado por "viga flutuante", a polia que sustenta a cabine não fica ligada à viga superior da cabine, mas a uma segunda viga, chamada de viga flutuante, disposta sob aquela. Entre essas duas vigas há duas molas. O peso da cabine puxa a viga superior para baixo, enquanto que a viga inferior é puxada para cima pela força exercida sobre a roldana pelo cabo de tração. Desse modo, as duas molas são mantidas comprimidas e as duas vigas são mantidas juntas.

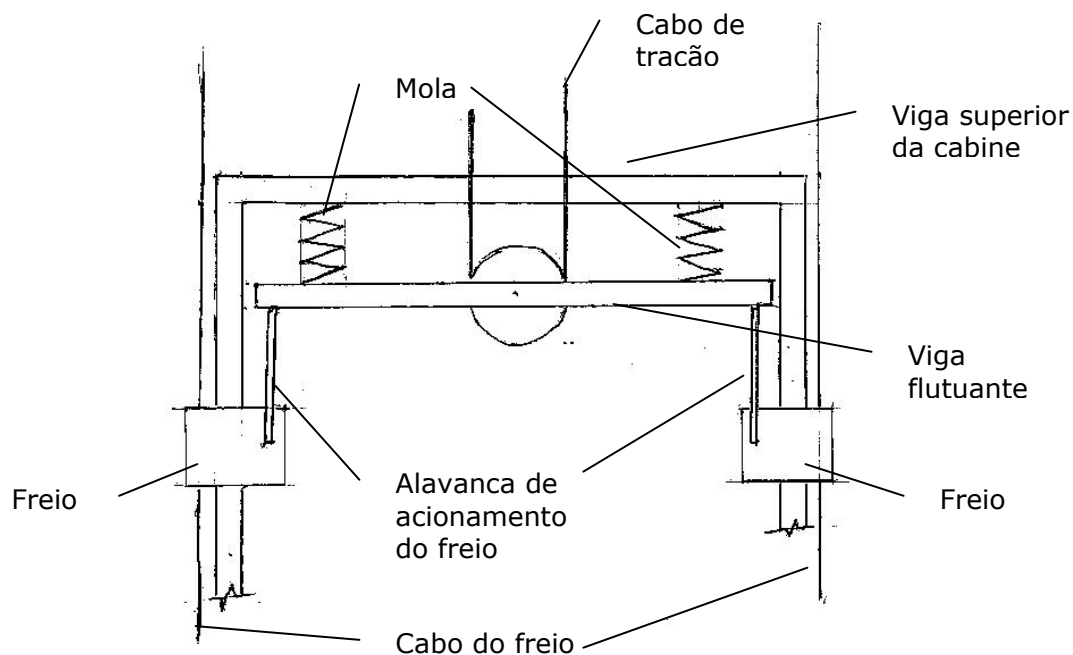


Fig. 2 - Sistema de freio acionado por "viga flutuante"

Porém, se a força exercida pelo cabo de tração for menor que a força exercida pelas molas, essas vão se abrir, e as duas vigas vão se afastar uma da outra. O deslocamento da viga inferior, em relação à superior, movimentará duas alavancas que vão acionar os dois freios dispostos nas laterais da cabine, interrompendo sua queda.

IV. A CONDIÇÃO DE ACIONAMENTO DO FREIO

A condição para acionamento do freio é que a força exercida na polia pelo cabo de tração seja inferior à força exercida pelas molas.

Em caso de ruptura do cabo, em que a tensão no cabo cai a zero, assim como a força exercida sobre a polia, essa condição é atendida.

Entretanto, no caso de queda devida à liberação do carretel por falha mecânica, em que não há ruptura do cabo, ainda há uma tensão residual no cabo, que pode evitar o acionamento do freio. Essa tensão é devida a:

1. Variação do momento angular do carretel do guincho. O carretel tem um momento angular L dado por

$$L = I\omega,$$

onde I é o momento de inércia do carretel junto com o rolo de cabo que o envolve,

e ω é a velocidade angular de rotação do carretel.

Na queda do elevador, essa velocidade angular aumenta, sendo a taxa dessa variação no tempo a aceleração angular $\alpha = d\omega/dt$. Consequentemente, o momento angular também aumenta.

Um corpo sempre conserva seu momento angular, exceto se for obrigado a mudá-lo por um torque aplicado sobre ele. A taxa de variação no tempo do momento angular é igual ao torque aplicado τ .

$$\tau = dL/dt = I \alpha \quad (\text{para } I \text{ constante})$$

No caso do elevador em queda, a velocidade angular do carretel aumenta, aumentando seu momento angular. Isso implica a existência de um torque aplicado pelo cabo ao carretel, igual à tensão no cabo, multiplicada pelo raio do rolo.

2. Variação do momento angular das polias. As polias também têm seus momentos angulares e, para aumentar suas velocidades angulares, demandam torques, que correspondem a mais tração no cabo.
3. Peso do cabo de aço. O peso da parte do cabo que fica do lado de fora da torre puxa o cabo para fora da torre. Dentro da torre, o cabo tem duas partes. O peso da parte móvel do cabo, que fica entre a polia do topo da torre e a polia da cabine, puxa o cabo para dentro da torre. Já a parte que fica fixa na viga superior da torre não exerce força, pois seu peso é totalmente sustentado pela viga superior. A força de tração resultante corresponde a um comprimento x multiplicado pelo peso linear ρ do cabo, onde x é a altura da base da torre até o topo da cabine. $P = [H - (H-x)] \rho = x\rho$
4. Forças de atrito. Há atrito entre o cabo de aço e as polias, entre as polias e seus eixos, entre o eixo do carretel e os mancais e, finalmente, entre a parte do cabo de aço que se está desenrolando e a volta de cabo que está ao lado.

Por simplicidade, no presente trabalho, consideraremos apenas a parcela **1** (variação do momento angular do carretel do guincho). Como todas as parcelas são positivas, se considerarmos as demais só poderemos aumentar a tensão residual no cabo de aço.

O problema será dividido em três partes: a) determinação da tensão no cabo de aço; b) determinação da tensão de acionamento do freio; c) comparando as duas tensões, obtenção da condição de acionamento do freio de emergência.

a) Determinação da tensão no cabo de aço no caso de queda sem ruptura do cabo

Seja **M** a massa da cabine com sua carga;
A, a aceleração da cabine;
a, a aceleração do cabo de aço;
g, a aceleração da gravidade;
T, a tensão no cabo de aço.

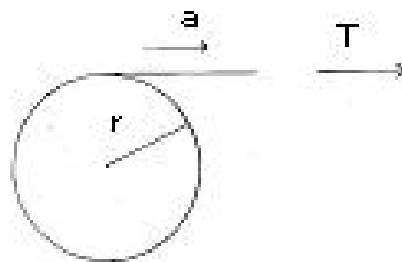
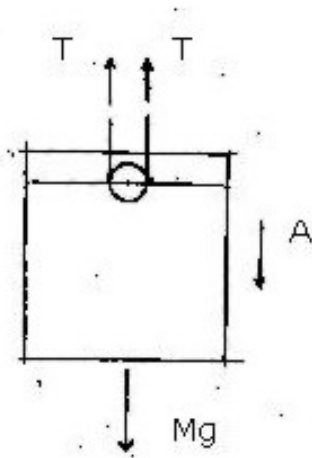


Fig. 3 – Esquema de forças na cabine Fig. 4 – Esquema de forças no carretel

Estando a cabine submetida ao seu peso próprio Mg e à tensão no cabo $2T$, pela 2ª Lei de Newton:

$$MA = Mg - 2T \quad (1)$$

Como o sistema de polias divide a velocidade por dois, temos a mesma razão para as acelerações:

$$A = a/2 \quad (2)$$

De (1) e(2) temos que:

$$T = M(g/2 - a/4) \quad (3)$$

Seja τ o torque aplicado pelo cabo de aço sobre o carretel;
T, a tensão no cabo de aço;
r, o raio externo do rolo do cabo de aço;
 α , a aceleração angular do carretel;
a, a aceleração do cabo de aço que sai do carretel;
I, o momento de inércia do carretel, incluindo o cabo de aço enrolado nele;

$$\tau = T r \quad (4)$$

$$a = \alpha r \quad (5)$$

Como exposto anteriormente, a variação do momento angular é igual ao torque aplicado:

$$\tau = I \alpha \quad (6)$$

Substituindo (4) e (5) em (6):

$$T = I a / r^2 \quad (7)$$

Igualando (3) e (7) e isolando **a**:

$$a = \frac{g}{\frac{1}{2} + \frac{2I}{Mr^2}} \quad (8)$$

Substituindo (8) em (7):

$$T = \frac{g}{\frac{r^2}{2I} + \frac{2}{M}} \quad (9)$$

Essa é a tensão residual no cabo de aço no caso de queda da cabine sem ruptura do cabo, quando o carretel gira livremente.

b) Determinação da tensão de acionamento do freio

A tensão no cabo em que ocorre o acionamento do freio depende da força das molas que expulsam a viga flutuante. Essa regulação tem um limite: o fato de que o freio de emergência nunca deve ser acionado durante a operação normal do elevador. Portanto, a tensão de acionamento não pode ser maior que a menor tensão que ocorre durante o funcionamento normal: a tensão correspondente à cabine descarregada. Na verdade, ainda deve ser deixada uma folga, pois existem acelerações em determinados momentos da operação que baixam mais a tensão: a aceleração ao iniciar a descida ou a desaceleração ao terminar a subida.

$$T_a \leq (M_0/2) \cdot (g-A),$$

onde **T_a** é a tensão de acionamento do freio,

M₀ é a massa da cabine descarregada,

g é a aceleração da gravidade, e

A é a maior aceleração da cabine na descida ou desaceleração na subida que ocorre durante a operação normal.

Essa última aceleração deve ser determinada experimentalmente. Porém, mesmo supondo que essa aceleração seja muito pequena, em nenhum caso a tensão de acionamento pode ser ajustada para um valor maior do que:

$$T_a = (M_0/2) g \quad (10)$$

Portanto, esse é o limite máximo para a tensão de acionamento do freio de emergência.

c) Condição de acionamento do freio de emergência

O acionamento do freio só poderá ocorrer se a tensão no cabo de aço for inferior à tensão de acionamento do freio de emergência:

$$T \leq T_a \quad (11)$$

Substituindo (9) e (10) em (11):

$$\frac{1}{\frac{r^2}{4I} + \frac{1}{M}} \leq M_0 \quad (12)$$

Essa é, pois, a condição de acionamento do freio de emergência tipo “viga flutuante” em caso de queda da cabine por liberação do carretel, sem ruptura do cabo.

V. CONCLUSÃO

Se a condição acima não for atendida, o freio não será acionado quando houver queda sem ruptura de cabo. Essa condição é necessária, mas não suficiente para garantir o acionamento do freio. Na sua dedução, foi considerada apenas a parcela da tensão residual no cabo devida à variação do momento angular do carretel do guincho. Ainda precisam ser levadas em consideração as outras três parcelas (variação do momento angular das polias, peso do cabo de aço, forças de atrito), sendo que esta última requer avaliação experimental. A incorporação dessas outras parcelas na condição de acionamento será objeto de outro trabalho, que pretendemos desenvolver futuramente.

Além disso, como foi comentado no item “IV”, “b”, usamos como tensão de acionamento do freio o seu limite máximo, valor que só poderia ser atingido se a maior aceleração da cabine na descida ou desaceleração na subida for muito menor que a aceleração da gravidade. A tensão de acionamento real depende da força das molas e do atrito do sistema de acionamento e de freio.

Finalmente, mesmo se atendida a condição de acionamento, para garantir a atuação eficaz do sistema de freio, ainda seria necessário examinar seus detalhes construtivos, as tolerâncias dimensionais do processo de fabricação e as condições de manutenção.

VI. BIBLIOGRAFIA

Symon, Keith R. *Mecânica*. Rio de Janeiro, Campus, 1982.