Consulta
De: Edgar <edgarguidorizzi@gmail.com>
Assunto: Projeto Tanques de Armazenamento

Gostaria de saber se existe algum artigo publicado sobre o dimensionamento de tanques de armazenamento atmosférico no que tange à boas práticas para determinar uma relação ideal entre H/D (altura / diâmetro).
Existe uma altura máxima para tanques conforme API 0650?
Tenho um Tanque a ser dimensionado com 21,0m de diâmetro e 31,72m de altura. Pelos seus conhecimentos, é permitido a construção de um tanque com estas dimensões?

Resposta
Primeiramente, temos as seguintes dúvidas, que solicitamos serem esclarecidas:
a. Qual o produto a ser armazenado? É combustível? É tóxico?
b. Sua empresa é uma petroquímica?
c. Este tanque é para ser instalado acima do solo? É um tanque cilíndrico vertical?
d. É atmosférico? Qual a temperatura de armazenamento?
e. Tem misturadores?
f. O material de construção é aço Carbono?

1. A seleção do tipo e as dimensões de tanque de armazenamento, cilíndrico vertical, devem ser feitas através de um estudo adequado, levando em consideração: condições e requisitos ambientais, natureza do fluido a ser armazenado (combustivel? inflamável? tóxico?), segurança operacional, espaço disponível, custo do tanque, custo das fundações, perdas operacionais e qualidade exigida no produto armazenado.

Os tanques de armazenamento de petróleo e seus derivados, em refinarias de destilação de petróleo, geralmente, têm o diâmetro maior que a altura, por razões econômicas, por serem de grande capacidade e distribuírem melhor a carga sobre o solo, do terreno em que estão instalados.
Por outro lado, em instalações de indústrias químicas podem ser observados tanques de altura maior que o diâmetro, por limitações de espaço físico ou por necessitarem de inertização e, portanto, ser importante menor superfície de produto exposta.

Por outro lado, há certos produtos que devem ser armazenados em tanques que apresentam relações H/D maiores, por ex.:

- Produtos que podem ser oxidados, pelo ar ambiente (caso de óleos lubrificantes) e, por isso, necessitam de inertização da superfície do líquido armazenado;
- Produtos tóxicos também requerem inertização, para que, em caso alívio de pressão, não seja expelido o produto nocivo para o meio ambiente.

Uma preocupação constante é o recalque do fundo do tanque, portanto a qualidade do terreno, em que o tanque vai ser instalado, deve ser avaliada com sondagens, para definir o projeto de fundação mais conveniente, de modo que o recalque absoluto e o recalque diferencial obedeçam a valores máximos, aceitáveis pelo equipamento, conforme o projeto civil.

Outra verificação é sobre a necessidade de ancoragem do tanque à base, conforme API Std 650, nos seguintes casos:
a) risco de tombamento do tanque devido à carga de vento;
b) pressão interna acima da atmosférica, para os tanques projetados de acordo com o Anexo F do código API Std 650;
c) vácuo interno para tanques projetados de acordo com o Anexo V do código API Std 650.

Em síntese, para a definição do diâmetro nominal (D) e a altura nominal (H) de um tanque de armazenamento é importante analisar a melhor relação H/D a adotar, caso a caso, em função dó espaço físico disponível, da superfície exposta do líquido, da resistência e qualidade do solo e do custo final.

2. Para a escolha do diâmetro do tanque, se deve levar em conta os seguintes aspectos

envolvidos:
a. Todos os tanques acima do solo, para líquidos inflamáveis e combustíveis, devem estar localizados a uma distância mínima, chamada de distância de segurança, de outro(s) tanque(s), de outro(s) equipamento(s), de edificações, de unidades de processo, de esferas de gás e de propriedades vizinhas, de acordo com a Norma ABNT NBR 17505-2
Esta Norma estabelece que haja uma distância de segurança, compreendida entre o costado do tanque e:

- O costado de um outro tanque;
- A parede externa mais próxima de uma edificação;
- A parte externa mais próxima de um equipamento fixo;
- O limite de propriedades adjacentes;
- A base interna de um dique.

Essa distância de segurança é diretamente proporcional ao diâmetro do(s) tanques) envolvido(s) e é medida a partir da parede externa do costado do tanque, portanto quanto maior o diâmetro, maior a distância de segurança a ser considerada, e mais área vai ser necessária para a instalação do tanque.

b. A norma brasileira ABNT NBR 7505-2 também determina que devem ser providos meios para evitar que qualquer descarga ou vazamento acidental de líquidos armazenados ameace instalações próximas, propriedades adjacentes ou atinja cursos de água.
A área ocupada pelos tanques deve dispor de recursos de controle de vazamento de produto.
Tais recursos devem ser constituídos por diques, que formem uma bacia de contenção, ou por canais de fuga, que conduzam o produto vazado ou derramado para uma bacia de contenção posicionada à distância segura.
Como 1º nível de segurança, o tanque de armazenamento de líquido está contido em uma bacia de acumulação ou segurança, com volume entre os diques de capacidade igual à do tanque menos o volume do tanque abaixo da altura do dique.
Em particular, se o tanque armazena líquidos combustíveis ou inflamáveis, com características de *boilover* ebulição turbilhonar, o volume da bacia deve ser dez por cento maior do que a capacidade total do tanque, para compensar o possível aumento no volume do óleo espumante, durante um incêndio no tanque.
Assim, se o tanque for de grande diâmetro, maior o espaço que ele vai ocupar na bacia e, com isso, maiores serão as dimensões (largura e comprimento) da bacia, para conter o tanque e o produto que vazar, pois, normalmente as paredes do dique são fixadas em cerca de 2,0 metros de altura.

c. O diâmetro do tanque deve atender à economia de material, considerando o aproveitamento de chapas inteiras ou meias chapas, com a finalidade de reduzir a quantidade de cortes, soldas, radiografias e sobras de material.
As chapas do costado devem ter as bordas esquadrejadas e apresentam as seguintes dimensões comerciais, como produzidas no Brasil:

a) espessura de 4,75 mm (chapas finas laminadas a quente):

1 500 mm x 6 000 mm e 1 800 mm x 6 000 mm;

b) espessura de 6,30 mm e acima (chapas grossas laminadas a quente):

2 440 mm x 12 000 mm.

d. O Anexo J Tanques de armazenamento montados na fábrica *Shop-assembled storage tanks*, do código API Std 650, fornece requisitos que cobrem a fabricação e montagem completa em fábrica e entrega no local de instalação, em uma única peça, de tanques que não excedem 6 m (20 pés) de diâmetro.
Devido ao menor diâmetro desses tanques e, provavelmente, altura maior, o tombamento como resultado do carregamento do vento deve ser considerado no projeto da fundação e se necessário, providenciar a ancoragem na base.
A aplicação deste anexo ao projeto e fabricação de tanques de armazenamento, montados na oficina e prontos para entrega, deve ser mutuamente acordada entre o Comprador e o Fabricante.

3. O código API Std 650 não limita a altura dos tanques diretamente, mas tanques com altura superior a 30 m não são encontrados, certamente, devido a requisitos especiais para estrutura e fundações, e custo de capital de investimento excessivo.

Pela literatura técnica a altura máxima de um tanque API Std 650 é de 20 m, em geral, tanques com mais 15 m não são comumente encontrados, embora sejam reportados tanques com até 23 m de altura.

À medida que a altura do tanque aumenta, as espessuras da parede dos anéis do costado aumentam, por conta das tensões combinadas de pressão, peso próprio e momento de flexão (pelo vento), além do risco de flambagem localizada.
Tanques mais altos também colocam uma carga maior no solo (peso próprio + peso do líquido armazenado + vento), e se a pressão de apoio sobre o terreno se tornar maior do que a pressão permitida pelo solo, fundações apoiadas em estacas se tornam necessárias e são caras.

Para a definição da altura do tanque, se deve levar em conta os seguintes aspectos envolvidos:
a. A altura do tanque afeta diretamente a capacidade de carga admissível do solo, pelo momento de tombamento devido ao vento, e um tanque muito alto pode exigir uma fundação estaqueada, o que custa muito.

b. Quando há o risco de tombamento do tanque, deve ser verificada a necessidade de ancoragem do tanque à base.

c. Tanques abertos (sem teto ou de teto flutuante externo) devem ser providos de anel de contraventamento localizado próximo ou no topo do último anel do costado, no lado externo do tanque, para garantir a sua circularidade, quando expostos ao carregamento do vento.

d. No caso de tanques de teto fixo, particularmente de grande atura, se deve verificar a necessidade de anel de contraventamento intermediário, com objetivo de manter a circularidade ao longo do costado do tanque, quando esse estiver vazio e sujeito a cargas simultâneas de vento e vácuo, e resistir à flambagem localizada.

e. Para a altura do tanque se deve levar em consideração a largura comercial das chapas, sendo, normalmente, um valor múltiplo da largura comercial das chapas utilizadas no costado.
Geralmente a altura de um tanque varia de 10 a 15 metros.

4. A discussão sobre o projeto de tanque de armazenamento, contemplando a relação H/D (altura/diâmetro), com diâmetro otimizado para ocupar menos espaço, porém com altura que ainda atenda à resistência estrutural da carga do vento e a custo moderado, requer análise caso a caso.

Ao projetar um tanque de armazenamento cilíndrico vertical, a relação altura/diâmetro é um fator importante, que deve ser considerado para avaliar os efeitos sobre os parâmetros como:

- Área ocupada pelo tanque;
- Peso próprio;
- Momento de tombamento e cisalhamento na base devido ao vento;
- Fundação e base do tanque;
- Custo estimado.

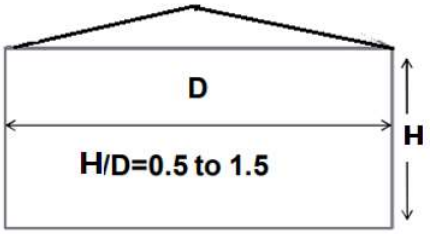
Em uma análise qualitativa verifica-se que conforme o valor da relação altura/diâmetro aumenta, a área ocupada pelo tanque de armazenamento diminui, porém os demais parâmetros aumentam, a saber: peso próprio, momento de tombamento e cisalhamento na base devido ao vento, fundação mais resistente e custo do tanque.

A relação entre a altura e o diâmetro de um tanque de armazenamento é chamada de relação de aspecto e para se chegar à razão H/D mais adequada, devem ser avaliados os aspectos, como *layout*, área disponível para a instalação do tanque, acessibilidade para manutenção, custos referentes ao material, fabricação e montagem do tanque e custos da fundação e base.

No código API Std 650 não há diretriz específica sobre a relação H/D - altura/diâmetro, mas na literatura técnica a respeito há algumas recomendações ou "regras práticas" como coletadas a seguir:

a. Na prática normal a altura máxima dos tanques de armazenamento é definida em 20 metros, porém, em terminais de recebimento e expedição de petróleo e derivados, que têm os tanque de maiores diâmetros, é comum que a altura seja cerca de 15 metros.

b. Tanque vertical de fundo plano em fundação de concreto a relação H/D, mais adequada, está na faixa de 0,5 a 1,5.



c. Mais especificamente, há a seguinte recomendação, em função da capacidade do tanque:

d. Para os tanques de grande capacidade, acima de 20000 m³, a relação H/D abaixo de 1,0 é recomendada, para evitar fundações civis caras.
A altura do tanque influi na resistência do solo à carga aplicada e um tanque muito alto pode exigir uma fundação estaqueada.

5. A partir dessas premissas, considerando a altura nominal variando com o diâmetro nominal, sendo 20 metros a altura máxima, é proposta a tabela a seguir, para tanques de armazenamento:

Capacidade (m³)	Diâmetro (m)	Altura m)	H/D
100	3,6	10	2,78
100	4	8	2,00
100	5	5	1,00
200	5	10	2,00
200	6	7	1,17
200	7,1	5	0,70
300	5,3	14	2,64
300	6,2	10	1,61
300	7	8	1,14
400	6	14	2,33
400	7,1	10	1,41
400	8	8	1,00
500	6,7	14	2,09
500	8	10	1,25
500	9	8	0,89
600	7,4	14	1,89
600	8,9	10	1,12
600	9,9	8	0,81
800	8,5	14	1,65
800	10	10	1,00
800	11,3	8	0,71

Capacidade (m³)	Diâmetro (m)	Altura m)	H/D
1000	9,5	14	1,47
1000	10	13	1,30
1000	11,3	10	0,88
2000	13,5	14	1,04
2000	14,5	12	0,83
2000	16	10	0,63
3000	16,5	14	0,85
3000	18	12	0,67
3000	19,2	10	0,52
4000	16	20	1,25
4000	18	16	0,89
4000	19,2	14	0,73
5000	18	20	1,11
5000	20	16	0,80
5000	21,3	14	0,66
7500	22	20	0,91
7500	25	15	0,60
7500	26	14	0,54
10000	25	20	0,80
10000	29	15	0,52
10000	30	14	0,47

Capacidade (m³)	Diâmetro (m)	Altura m)	H/D
20000	35	20	0,57
20000	40	16	0,40
20000	42	14	0,33
30000	43	20	0,47
30000	50	15	0,30
30000	52	14	0,27
50000	56	20	0,36
50000	65	15	0,23
50000	68	14	0,21
75000	69,5	20	0,29
75000	80	15	0,19
75000	83	14	0,17
100000	80	20	0,25
100000	89	16	0,18
100000	95	14	0,15
150000	97	20	0,21
150000	105	17	0,16
150000	116	14	0,12
200000	115	20	0,17
200000	125	16	0,13
200000	135	14	0,10

Relação H/D – altura x diâmetro – em função da capacidade do tanque