Impactes de acidentes com equipamentos sob pressão Impacts of accidents with equipment under pressure

Patrício, Paulo^a; Baptista, J. dos Santos^b

FEUP/CIGAR, R. Roberto Frias,s/n, 4200-465 Porto PORTUGAL,, ^abeja@fe.up.pt; ^bjsbap@fe.up.pt

Resumo

Desde a revolução industrial, com o surgimento das máquinas utilizadoras de vapor sob pressão, apareceram novos riscos - as explosões das "caldeiras". Actualmente, os equipamentos sob pressão têm uma utilização abrangente, que vai desde o uso doméstico até à produção de energia (nuclear), ou à indústria pesada (petroquímica). Estes equipamentos, por definição, trabalham com pressões acima da atmosférica e, consequentemente, apresentam grande quantidade de energia acumulada. Esta, quando é libertada de uma forma não controlada, pode ocasionar impactes negativos, tanto ocupacionais como ambientais. Estes, pelas repercussões generalizadas que podem tomar, exigem a tomada de medidas efectivas de prevenção e protecção das pessoas e bens. Este trabalho visa evidenciar a importância de uma correcta utilização dos equipamentos sob pressão com a apresentação das medidas de prevenção e protecção e das consequências de alguns acidentes. Não obstante existir uma grande quantidade de equipamentos sob pressão em funcionamento e estarem notificados poucos acidentes, é necessário manter o seu controlo apertado pelas consequências extremamente graves dos acidentes, tanto no ponto de vista das pessoas, como dos bens.

Palavras-chave: Equipamentos sob pressão, Acidentes, Explosão

ABSTRACT

Since the industrial revolution, with the advent of machinery that use steam under pressure, new risks have appeared - the explosions of "boilers". Currently, pressure equipment have utilization an broad that will from domestic use until production of energy (nuclear), or heavy industry (petrochemicals). These devices, by definition, work with pressures above atmospheric and thus have a large amount of stored energy. This, when it is released in a uncontrolled way, can cause negative impacts, both occupational and environmental. Those impacts, by the widespread repercussions that may take, require effective measures to prevent and protect people and property. This paper aims to highlight the importance of a correct utilization of pressure equipment, with the presentation of measures of prevention and protection and the consequences of some accidents. Nevertheless the existence of a lot of pressure equipment in operation and being reported few accidents, it is necessary to maintain its tight control, by the extremely hazardous consequences of those accidents, both in terms of people as property.

Keywords: Pressure equipment, Accidents, Explosion

1. INTRODUÇÃO

De um ponto de vista legal, são considerados sob pressão, todos os equipamentos e conjuntos sujeitos a uma pressão máxima admissível (PS) 0,5 bar acima da pressão atmosférica (Decreto-Lei n.º 211/99, n.º 1 do Artigo 2.º). Tais equipamentos são utilizados em várias situações, desde o uso doméstico (panela de pressão ou cafeteira), uso recreativo (garrafas de ar comprimido para mergulho ou compressores para enchimento de bolas de futebol) até ao uso industrial (desde a produção de energia até à cozedura de alimentos).

Conforme o tipo de equipamento, existem riscos específicos associados. As situações mais vulgares são a explosão simples, com projecção de água, de fragmentos metálicos e de outros materiais que podem causar danos nas estruturas e ferimentos graves, e até a morte, de pessoas que se encontrem nas proximidades. Neste caso mais elementar, não há o risco de incêndio nem de intoxicação pelos gases libertados.

Existem, no entanto, equipamentos como, por exemplo, as garrafas de gás propano ou os reservatórios de GPL (Gases de petróleo liquefeitos) que para além dos danos anteriormente mencionados, podem dar origem a incêndios. Subindo na escala do risco, vêm os reservatórios de fluidos perigosos, tóxicos (MIC ou amoníaco) ou radiação nuclear, cuja explosão ou simples descarga, pode dar origem a catástrofes como a de Bhopal em 1984 ou Chernobyl em 1986.

2. CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

O risco intrínseco e mais gravoso inerente aos equipamentos sob pressão é o de explosão. Este pode ser de origem física, por cedência do material ou dos dispositivos de segurança, ou química, por reacção altamente exotérmica e não controlada.

A quantificação do risco de explosão é baseado no cálculo da energia armazenada, no tipo de uso do equipamento e no(s) fluido(s) que contém.

Energia armazenada

A energia armazenada pelo gás/vapor, equivale à acumulada na passagem do fluido da pressão atmosférica para a pressão de trabalho. O cálculo pode ser efectuado através da energia libertada por um gás ideal comprimido, e pode ser calculada através da seguinte equação (Brode, 1959 pp. 217-229).

$$E = \frac{(p_1 - p_a) \times V}{\gamma_1 - 1} \quad (1)$$

onde:

p_1 – pressão do equipamento;

p_a – pressão atmosférica;

V – volume;

γ_1 – relação da constante de pressão com o calor específico de um gás num volume constante.

Para poder mostrar a perigosidade dos sistemas pressurizados considere-se o exemplo da energia acumulada num simples pneu de uma máquina de terraplanagem. Esta é suficiente para elevar um veículo de 1.360 kg a uma altura de 26 metros (RIBEIRO, 1999 p. 11).

Tipo de equipamento

Verifica-se através da Tabela 1 que a probabilidade de ocorrência de falhas nos equipamentos varia de acordo com o modo de funcionamento. Pode-se inferir que os equipamentos que apresentam maiores riscos são os geradores de calor.

Tabela 1 – Taxa de falhas conforme tipo de equipamento

Tipo de Equipamentos	Taxa de falhas (Falhas/Ano)
Equipamentos sob pressão, em processo	$2,7 \times 10^{-3}$
Reservatórios (armazenagem) sob pressão	$1,8 \times 10^{-3}$
Permutadores de calor	$1,7 \times 10^{-3}$
Geradores de calor	405×10^{-3}
Reservatórios de alta temperatura, excepto os geradores de calor	$7,4 \times 10^{-3}$
Reservatório a baixa temperatura	$1,5 \times 10^{-3}$

(LEES, 1996 p. 12.97)

Fluido a conter

Conforme o tipo de fluido que estiver contido no recipiente, este terá comportamento diferente e consequentemente uma forma de resistir às solicitações, também diferente.

Para fluidos do tipo compressíveis, gases e vapores, a possibilidade da energia ser acumulada é muito maior do que em fluidos não compressíveis. Logo, as exigências de resistência serão maiores para equipamentos que contenham aquele tipo de fluidos.

Os equipamentos em que o conteúdo são fluidos corrosivos, oxidantes, com partículas ou com temperaturas diferentes das ambientais têm um risco de ruptura maior que os que contêm fluidos inertes. Isto deve-se ao ataque aos elementos resistentes, através de fenómenos químicos ou físicos com a consequente diminuição da resistência mecânica. Para evitar este fenómeno é necessário projectar os elementos resistentes com sobre espessuras e os que estão em contacto directo com o fluido com películas protectoras.

2.2. Fuga de fluido

Conforme o tipo de fluido, as características do risco variam. Desde o impacto de uma pequena fuga de um gás não reactivo, como o ar ou azoto comprimidos, em que existe a fraca probabilidade de penetrar na pele, até aos grandes impactes com a libertação de fluidos muito perigosos e em grandes escala, como os que podem ocorrer com agentes químicos ou centrais nucleares.

Em termos de abrangência, as fugas podem ter um impacto apenas a nível da organização, como, por exemplo, a projecção, em pequena escala, de produtos químicos nocivos sobre pessoas, ambiente ou património. Ou, mais alargado numa escala geográfica e/ou de número de intervenientes como aconteceu nos acidentes de Bhopal e de Chernobyl.

Em termos ambientais as fugas podem contaminar a atmosfera, as águas ou os solos, numa escala que pode variar desde a pequena fuga de óleo até a derrames de hidrocarbonetos no mar, em sistemas hidrográficos ou em aquíferos.

3. CAUSAS DE ACIDENTES

No que concerne a explosões de reservatórios, há essencialmente duas causas: Pressão no interior do equipamento superior à pressão projectada ou diminuição da resistência da secção resistente para valores abaixo da resistência calculada (Doormaal, et al., 2005 p. 7.16).

O aumento da pressão no interior do equipamento pode também, por sua vez, ter várias causas, como por exemplo temperatura exterior do equipamento ser maior à de projecto; ligação a montante a um pressão superior à de projecto; obstrução da saída; reacções químicas e processo descontrolado.

Por sua vez, a diminuição de secção resistente pode ser provocada por deficiência de projecto, defeitos de construção, má condução ou má manutenção.

4. MEDIDAS DE PREVENÇÃO

A prevenção dos acidentes neste tipo de equipamentos deve efectuar-se em todas as fases da sua vida útil, desde a concepção, passando pela construção, utilização e manutenção até ao abate.

Em todas estas fases existem elementos comuns que necessariamente têm que estar presentes, como pessoal qualificado; monitorização e controlo da condução; dispositivos de segurança em bom estado, manutenção adequada e inspecção.

4.1. Concepção/Projecto

Para além dos requisitos funcionais, a concepção/projecto é baseada nos códigos de projecto específicos (Ex.: ASME, AD, Codap, BSI, EN, ...).

De forma geral a concepção/projecto de construção dos equipamentos tem em conta os seguintes factores: como pressão interna e externa, temperaturas ambiente e de serviço, margens de segurança, cargas estáticas e dinâmicas, ductilidade da estrutura dos materiais nas escalas macro e micro, resistência à fadiga, à corrosão e à erosão, localização das tensões, transição de espessuras, reforços nas aberturas, soldaduras, pressão, tipo de

juntas, cálculo dos apoios tendo em atenção as cargas estáticas e dinâmicas bem como a existência de equipamentos de segurança adequados como válvulas de segurança, discos de ruptura, manómetros, pressóstatos, indicadores de nível, vacuómetros, entre outros (HARVEY, 1991 p. 1).

4.2. Construção

A construção deverá ter um controlo de qualidade exaustivo conforme o recomendado no Anexo III do Decreto-Lei n.º 211/99, ou seja, um controlo da qualidade dos materiais, através de boletins de ensaio e/ou ensaios de recepção, controlo de qualidade durante a fabricação, através da utilização de procedimentos, equipamentos e pessoas qualificadas (ex. soldadores e inspectores de ensaios não destrutivos END's) e um controlo final apertado (ex. medições de dimensões e de espessuras, controlo de fissuras, controlo das soldaduras, prova de pressão).

4.3. Dispositivos/órgãos de segurança

Se em algum caso não for possível manter os parâmetros de controlo do processo (ex. pressão e temperatura) e não existir outra maneira de evitar a ruptura do equipamento, devem existir os dispositivos necessários à depressurização dos recipientes, para valores pré definidos de descarga.

As válvulas de segurança são dispositivos de dissipação, controlada, de pressão. As válvulas deverão ter uma capacidade de vazamento sempre igual ou superior à capacidade do equipamento a montante bem como sobre pressões por causas externas. Estas podem ser classificadas conforme o seu princípio de funcionamento: válvula de peso, válvula de mola e válvula contra-peso. As válvulas de peso devido à sua pouca eficácia não são utilizadas nestes equipamentos.

Existe uma divergência relativamente a eficácia da acção das válvulas. Por um lado nos Estados Unidos da América através da ASME só é possível o uso de válvulas de mola enquanto na Europa já é recomendável o uso de válvulas de contra-peso. Isto é devido a considerar-se que as válvulas de mola têm grande probabilidade de ficarem "coladas". A colocação das saídas das válvulas de segurança deverá ser de tal modo que não haja risco de contacto do vapor com as pessoas ou bens.

Outros dispositivos de protecção que podem substituir as válvulas de segurança são os discos de ruptura e os pinos de ruptura. Estes dispositivos têm uma particularidade, ou seja, obrigam a que o responsável da instalação a encontrar e eliminar a causa da ruptura da sobrepressão. Os discos de ruptura também podem ter como função a protecção das válvulas quando estão colocados a montante da válvula evitando que estas estejam em contacto directo com produtos corrosivos.

Para o controlo da temperatura podemos ter termómetros, termopares e fusíveis.

Para a medição e monitorização da pressão dentro dos geradores utilizam-se os manómetros. Estes equipamentos devem ser aferidos regularmente, para garantia das suas medições. A garantia das medições em Portugal, com este tipo de equipamentos, está acautelada através do regulamento de controlo metrológico.

Outra forma de controlar e monitorizar a pressão e outros parâmetros, nos geradores de vapor, é através de limitadores (sistemas de controladores, transdutores, pressóstatos e actuadores).

De forma a dissipar a energia criada, por uma explosão não controlada dentro da câmara de combustão, haverá um dispositivo que irá permitir a saída controlada dos gases de dentro do equipamento sem por em perigo de ruptura deste. A este dispositivo chama-se portas de explosão. Recomenda-se que estas portas estejam situadas na primeira passagem dos gases.

Nas instalações onde está situado o gerador deverão existir meios de extinção de forma a ser possível o combate a um possível incêndio que poderia por em risco o equipamento.

4.4. Utilização

A utilização dos equipamentos sob pressão deverá estar dentro dos parâmetros indicados no projecto e deverá ser efectuada por pessoal qualificado.

Devido à sua perigosidade, estes equipamentos deverão estar inacessíveis a pessoas não autorizadas e deverão estar localizados a distâncias de segurança, que minorem as consequências do possível acidente.

4.5. Manutenção

Qualquer acto de manutenção deverá ser realizado por pessoal qualificado e com conhecimentos específicos do equipamento em questão.

As alterações do equipamento deverão estar de acordo com o código de construção e sujeitas à inspecção adequada antes do mesmo ser colocado novamente em funcionamento.

A manutenção é indicada pelo fabricante, havendo uma manutenção preventiva e também curativa.

Em Portugal a periodicidade das inspecções é definida pelas entidades licenciadoras e realizadas por entidades inspectoras. Estas inspecções são definidas pelo (Decreto-Lei n.º 90/2010) e pela correspondente ITC (Instrução Técnica Complementar) (Despacho n.º 22332/2001) para os geradores de calor.

Para ser autorizado o funcionamento da instalação deverá ser efectuadas as seguintes acções "... inspecção técnica e de uma prova de pressão, ambas a efectuar por um organismo de inspecção, e, eventualmente uma vistoria a realizar pela DRE ...".

Ao fim de 5 anos de funcionamento é necessário renovar as acções indicadas anteriormente (Decreto-Lei n.º 90/2010, n.º 1 do Artigo 11.º).

Durante o funcionamento devem ser feitas inspecções intercalares (geralmente a meio do período de inspecções periódicas).

4.6. Abate

Também aqui será necessário ter cuidado com o final da vida útil do equipamento de forma a evitar que a sucata proveniente do abate gere acidentes (ex. colocação de garrafas em fornos) ou contaminação ambiental (derrames óleos ou libertação de CFC's na atmosfera).

5. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

Não podendo evitar o acidente, explosão, projecções de fragmentos ou fugas, ter-se-á que minorar as suas consequências. Para o efeito será necessário aplicar medidas de mitigação. Estas medidas baseiam-se em três grupos fundamentais: Afastamento do homem (distância de segurança, comando à distância, caminhos de evacuação e acesso restrito), Redução da energia libertada (barreiras de segurança, criação de zonas frágeis, ...), Evitar efeitos cruzados e/ou sinérgicos (Efeito de dominó – conceito da directiva Seveso - e controlo de fugas através de bacias de retenção).

6. ACIDENTES COM EQUIPAMENTOS SOB PRESSÃO

No sentido de evidenciar a importância que o problema dos acidentes com equipamentos sob pressão têm, que vai desde um impacte de carácter regional como é o conhecido caso de Bhopal até aos simples recuperadores de calor domésticos, são apresentados de seguida, a título de exemplo, uma série de casos reais, ocorridos em Portugal nos últimos anos.

Caso 1 – Fuga de Isocianato de metilo (Caso Bhopal)

Na noite de 2 para 3 de Dezembro de 1984, libertou-se uma nuvem de isocianato de metilo, cerca de 42.000 kg, sobre a cidade indiana de Bhopal com uma população estimada de 800.000 habitantes. A origem da fuga foi a fábrica de pesticidas, da Union Carbide, que passava, na altura, por uma crise financeira. Como consequência da fuga morreram aproximadamente 2.300 pessoas e 200.000 foram intoxicadas (não existem valores unanimemente aceites). A empresa e o Estado Indiano chegaram a um acordo de US\$ 470 milhões para indemnização. O valor ficou muito abaixo do valor real para ressarcir a população afectada. Da análise do acidente verificou-se que houve um acumular de falhas nos equipamentos (nos controladores e nos equipamentos de protecção) e violações de regras de segurança. Tal deveu-se à diminuição das actividades de manutenção e utilização de mão-de-obra com deficiente qualificação o que, por sua vez, se deveu à crise financeira pela qual a empresa estava a passar.

Caso 2 – Explosão de gerador de vapor (Caldeira)

No início da manhã de 2006 explode um gerador de calor, de uma empresa corticeira, no arranque do funcionamento. Como consequência morre, no momento, o fogueiro e, posteriormente, outro colaborador, é ainda destruída parte significativa da instalação fabril e danificados os telhados das habitações vizinhas. A causa possível do acidente será o arranque do gerador em vazio, sem água, com posterior introdução de água gerando choque térmico com vaporização instantânea desta. Por de trás deste acidente supõem-se que haja causas decorrentes de uma intervenção de manutenção no dia anterior à entrada em funcionamento.

Caso 3 – Explosão de um gerador de água quente

Em 1994, num lagar de azeite, um gerador de água quente de construção bastante antiga explodiu. O sistema de segurança do gerador era baseado num respiro, orifício instalado na parte superior. Este gerador não possuía controlador de temperatura nem de pressão. Verificou-se que a temperatura da água aumentou em demasia, provocando um aumento da pressão para valores superiores aos de resistência das paredes do gerador. O sistema de segurança não actuou devido a um mau dimensionamento, ou seja, a capacidade do orifício era demasiado baixa para a capacidade do gerador.

Caso 4 – Fuga de banho de tinturaria (Jet)

Em Julho de 2009, o operador de um *Jet*¹, ao abrir uma porta para retirar uma amostra, sofreu queimaduras por projecção, de banho de tingimento. Como consequência, o operador do *Jet* teve queimaduras de 3º grau na parte abdominal. Como causa possível deste acidente aponta-se a retirada de funcionamento ou avaria da válvula de despressurização do equipamento que efectuava a despressurização antes da abertura do porta-amostras. O *Jet* tinha sido colocado em funcionamento há pouco tempo e estava a ser sujeito a acções de manutenção.

Caso 5 – Fuga de banho de tinturaria (Autoclave de tinturaria)

Em meados dos anos sessenta do século passado, durante a realização de um ensaio industrial, numa empresa têxtil um técnico é atingido pela projecção de banho de tinturaria (com corantes *naftois*), a uma temperatura entre 110 e 130 °C e com um pH 12. O técnico foi atingido pelo banho devido à abertura da porta, para retirada de uma amostra, sem ter deixado baixar a temperatura para valores de segurança, ou seja, inferiores a 80 °C. As causas fundamentais deste acidente foram a violação da regra de condução do equipamento e a não utilização de dispositivos de encravamento que deveriam assegurar que a abertura da porta apenas funcionasse quando a temperatura caísse para valores abaixo dos 80 °C.

Caso 6 – Explosão de um recuperador de calor

Numa lareira doméstica, o recuperador de calor rebentou, causando a morte dos seus proprietários. O recuperador foi retirado de funcionamento através do seccionamento com o circuito de aquecimento de águas. O sistema de segurança do recuperador para o aumento da pressão estava instalado no cilindro. No momento em que houve o referido seccionamento, o recuperador deixou de executar o aquecimento das águas. Contudo, manteve-se instalado à saída da lareira e sem sistema de protecção contra sobre pressões. Quando a lareira entrou em funcionamento aqueceu e vaporizou a água que estava ainda dentro do recuperador. Porém, o vapor gerado não tinha sítio para se expandir, originando um aumento de pressão. A parede do recuperador não tinha resistência para este aumento, provocando uma ruptura. A causa do acidente foi provavelmente a falta de uma

¹ Máquina de tinturaria, usada no tingimento com altas pressões e temperaturas, aproximadamente 130 °C e 3 bar.

válvula de segurança instalada no mesmo e a falta de qualificação do técnico que efectuou o seccionamento do recuperador.

7. CONCLUSÕES

Os equipamentos sob pressão representam um perigo que é reconhecido pelas entidades regulamentadoras e fiscalizadoras e, por isso, todos os aspectos técnicos de projecto, construção, condições de utilização e de abate estão regulamentados. Esta preocupação tenta evitar a entrada no mercado de equipamentos de má qualidade, assegurar que os técnicos que fazem a condução e manutenção dos equipamentos estejam devidamente habilitados ou que os equipamentos sejam instalados em condições desadequadas. Contudo, mesmo com todas estas precauções, embora em pequeno número, os acidentes existem e as suas consequências são, geralmente, gravosas em virtude da enorme quantidade de energia que estes equipamentos conseguem acumular.

Pela análise dos acidentes apresentados, para além das diversas características que cada uma dos equipamentos apresentava e das suas condições de utilização, pode ser observado um padrão comum de erro que conduziu ao desastre. Esse desvio prende-se com uma intervenção humana recente e de má qualidade nos equipamentos. É possível identificar que até em equipamentos aparentemente simples como recuperadores de calor, podem dar origem a acidentes graves por más condições de instalação.

Como conclusão final deste trabalho fica a evidência do perigo que representam estes equipamentos, os quais são de utilização generalizada, directa ou indirecta, na vida quotidiana de todos os cidadãos. Fica também a necessidade de cumprimento de todas as regras de segurança que lhes estão inerentes pelos técnicos que com eles lidam (projecto, instalação, manutenção, condução, abate), os quais devem possuir formação adequada. Também os utilizadores domésticos necessitam de ter consciência da sua perigosidade e evitar a própria intervenção ou a intervenção por técnicos não qualificados neste tipo de equipamentos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brode, H. L. 1959. Blast wave from a spherical charge. s.l. : Physics of Fluids, 1959. pp. 217-229.
- Decreto-lei n.º 211/1999. *Regras a que devem obedecer o projecto, o fabrico e a avaliação da conformidade, a comercialização e a colocação em serviço dos equipamentos sob pressão*. s.l. : Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1999.
- Decreto-Lei n.º 90/2010. *Regulamento de Instalação, Funcionamento, Reparação e Alteração de Equipamentos Sob Pressão*. s.l. : Imprensa Nacional Casa da Moeda, 2010.
- Despacho n.º 22332/2001, de 30 de Outubro. 2001. *Instrução técnica complementar para geradores de vapor*. s.l. : Imprensa Nacional Casa da Moeda, 2001.
- Doormaal, J. C. A. M. Van e WEES, R. R. M. M. Van. 2005. *Methods for the calculation of physical effects - Chapter 7*. s.l. : VROM, 2005. p. 7.16.
- Harvey, John F. 1991. *Theory and design of pressure vessels*. New York : Chapman & Hall, 1991
- Lees, Frank P. 1996. *Loss Prevention in the process industries*. 2. s.l. : Butterworth-Heinemann, 1996. p. 12/97. Vol. 1
- Ribeiro, Vítor Rocha. 1999. *Reparação automóvel: segurança no trabalho em penus de veículos pesados*. Lisboa : IDICT, 1999. p. 11.
- <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencial/riscos/acidentes/bhopal.asp> (consultado em 9-01-2011)