

CONTROLE DA ELETRICIDADE ESTÁTICA EM PLANTAS QUÍMICAS

P. E. Pascon



Um número significativo de incêndios e explosões que ocorrem na indústria tem como causa a eletricidade estática. No caso de explosões envolvendo pós, as investigações disponíveis revelam que 9% delas tiveram o centelhamento estático como fonte de ignição; sendo que este valor sobe para 35% em se tratando apenas de pós poliméricos. Entendendo o processo de geração de carga poderemos controlar e/ou eliminar este perigo através de medidas adequadas como dimensionamento, aterramento, materiais não-metálicos condutores, ionização, etc....

Introdução

A geração de eletricidade estática é essencialmente um fenômeno de superfície associado ao contato e separação de duas superfícies heterogêneas. Pode ser interpretado como um efeito resultante da transferência de elétrons ou íons de uma superfície para outra. A diferença de potencial entre as duas superfícies em contato é pequena, da ordem de 1 volt. Entretanto, após a separação, o potencial dos materiais sobe rapidamente na medida em que a distância entre as superfícies carregadas aumenta e se exerce trabalho contrário ao campo elétrico. A relação entre a carga eletrostática e a diferença de potencial é dada por:

$$Q = V C \quad \text{onde,}$$

Q = carga eletrostática no objeto, em Coulombs
V = diferença de potencial no sistema, em Volts
C = capacitância do sistema, em Farads

Os problemas de segurança associados com materiais eletrostaticamente carregados se devem principalmente aos perigos de fogo e explosão que podem ocorrer se a carga acumulada for suficiente para causar uma descarga na presença de gases, vapores ou pós inflamáveis. Também é fato que, em muitas situações corriqueiras, a energia envolvida numa descarga eletrostática pode causar choques elétricos sérios em seres humanos.

A eletrificação estática ocorre tanto com materiais eletricamente condutores como materiais não-condutores, mas o acumulo de níveis perigosos de carga normalmente requer que pelo menos um

elemento seja não-condutor. Os compostos envolvidos na indústria química não são puros ou limpos e o nível de eletrificação é muito frequentemente determinado pela contaminação superficial, impurezas, materiais adsorvidos ou adsorvidos, ao invés da constituição química básica do sólido ou líquido.

A natureza e a energia da centelha descarregada depende, entre outras coisas, da natureza elétrica do corpo carregado (condutor ou isolante) e da forma das superfícies através da qual ocorre a descarga. A relação entre a carga eletrostática (Q), diferença de potencial (V), capacitância elétrica (C) e a energia máxima da centelha (E) é dada por:

$$E = 1/2 Q^2/C = 1/2 CV^2 \quad \text{onde,}$$

E é expresso em joules

Materiais não condutores

Um número crescente de equipamento e itens de instalação tem sido nos últimos anos fabricados em materiais não condutores (plásticos, borrachas, compósitos). Um dos nossos problemas tem sido o de decidir se tubulações, vasos, tanques, ciclones, etc... construídos com estes materiais, nos quais carga eletrostática pode ser gerada e retida, podem ser especificados para compostos inflamáveis. A possibilidade de choque físico também deve ser considerada durante a concepção da instalação.

Virtualmente todas as investigações indicam que, qualquer que seja o método de geração de carga, a

densidade de carga pode, sob certas condições, atingir um nível no qual a força do campo próximo da superfície do material de construção é suficientemente grande para causar uma descarga elétrica da superfície.

Para uma chapa plana esta densidade de carga é $2,9 \times 10^{-5} \text{ C.m}^{-2}$. A densidade de carga requerida para iniciar a descarga depende, entre outras coisas, da forma da superfície. Experimentos com tubos de polietileno mostram, entretanto, que a densidade de carga máxima que poderia ser sustentada na superfície antes que a descarga se inicie está na faixa de $1,0 \times 10^{-5} \text{ C.m}^{-2}$ - $3,0 \times 10^{-5} \text{ C.m}^{-2}$, a menos que o diâmetro do tubo seja menor que 0,5 cm. Para fins práticos pode ser assumido que as descargas vão ocorrer quando a densidade de carga na superfície for da ordem de 10^{-5} C.m^{-2} .

O nível de carga também depende da condição de superfície do não-condutor. Variações na umidade relativa podem modificar a condição de superfície mas, devido à natureza hidrofóbica de muitos materiais poliméricos, altos níveis de energia podem ser atingidos numa vasta gama de umidades relativas. A contaminação das superfícies condutoras de outras fontes também pode limitar a densidade máxima de superfície exceto áreas localizadas de alta condutividade, isoladas da terra, podem aumentar o perigo de descargas perigosas.

O uso de equipamentos não condutores introduz o perigo de uma descarga de superfície plástica, aumenta o perigo de descarga de condutores isolados, e, no caso de containers, pode influenciar os níveis de carga retidos no conteúdo armazenado e aumentar a possibilidade de uma descarga a partir dos mesmos.

A descarga de superfícies não condutoras pode assumir várias formas e sua natureza diversa está refletida na terminologia já publicada. Expressões como centelha, corona, escova, multi-raiz, galho, contato deslizante e descargas em brasa tem sido usadas para descrever as estruturas da descarga.

Uma consequência de importância prática que surge da diversidade do tipo de descarga é a ausência de qualquer medida quantitativa geralmente aceita do poder de ignição das descargas. A acendibilidade de uma descarga não é somente determinada pela sua energia total, mas depende da distribuição de energia em relação ao espaço e tempo. O poder de ignição de uma descarga simples de uma superfície condutora pode ser avaliada, com certas reservas, comparando a

energia total de descarga com a energia mínima de ignição por centelha da atmosfera inflamável.

Esta comparação não é válida para descargas de não-condutores, sejam eles superfícies líquidas ou sólidas. A energia total da descarga pode ser consideravelmente maior do que a energia mínima de ignição da atmosfera inflamável circundante sem ocorrer a ignição. O conceito de “energia equivalente” foi introduzido numa tentativa de superar esta dificuldade. A energia equivalente de uma descarga foi definida como a energia mínima da atmosfera de gás ou vapor para a qual a descarga do não condutor tenha uma probabilidade de ignição de 0,001. Considera-se que, pelo menos para gases e vapores, se o equivalente de energia é X mJ, então a descarga não causará a ignição de qualquer outra atmosfera de gás ou vapor cuja energia mínima de ignição seja maior que X mJ.

Experimentos com placas de polietileno mostram que a geração de carga por esfregamento pode conduzir a descargas com energias equivalentes de até 1,0 mJ e plásticos carregados por pulverização produzem descargas com energias equivalentes de até 4,0 mJ. Estes podem não ser valores máximos. Se uma área do plástico se torna contaminada e mais condutiva, então os fatores que limitam a migração da carga para o ponto de descarga podem ser reduzidos e as limitações de energia impostas por eles removidas. As condições de descarga são então similares às daquelas de um condutor e a carga total na área contaminada pode ser liberada numa única centelha.

Energias equivalentes tem sido usadas para avaliar a acendibilidade de descargas a partir de tubos de polietileno em atmosferas de vapor (energia mínima de ignição de 0,2 mJ). A menos que o diâmetro do tubo estivesse abaixo de 1,0 cm, a acendibilidade de uma descarga poderia ser virtualmente igual aquela de uma placa plana de um material não-condutor.

A eliminação de descargas perigosas de condutores pode ser alcançada através de aterramento. Entretanto, num sistema misto de metal - plástico, pode ser difícil garantir que todos os componentes metálicos estejam aterrados. Além do mais, caso qualquer item condutor seja isolado da terra, então a presença de um não-condutor carregado fará com que o condutor se torne carregado por indução.

Uma planta montada de uma combinação de materiais não condutores e condutores isolados podem

representar um sistema com “perigo máximo” que combina a possibilidade de retenção de carga grande e de longo período no não-condutor com a possibilidade de toda a energia armazenada sendo liberada numa única centelha do condutor.

Containers não condutores impedem a dissipação de qualquer carga do seu conteúdo líquido ou sólido. Descargas de superfícies líquidas de alta resistividade em containers metálicos são bem conhecidas, mas tendem a ser não-acendíveis. Containers não condutores aumentam a retenção da carga em líquidos condutores, e podem muito bem introduzir a possibilidade de descargas acendíveis de superfícies líquidas. Poucos dados quantitativos foram publicados sobre este tópico, mas se reconhece que para aditivos antiestáticos serem eficazes durante o processamento de hidrocarbonetos, o líquido deveria estar em contato com a terra quando entrar no tanque de armazenamento.

O armazenamento de carga em containers não condutivos é uma situação na qual a liberação de energia pode ser suficientemente grande para causar choque físico. Num acidente relatado recentemente, um operador ficou inconsciente pela energia liberada no momento em que ele comprimiu fibra de monofilamento armazenada num container plástico. Uma situação similar pode existir em unidades de processamento de pós.



Fig. 1 e 2 – O sistema de transporte e armazenamento de grãos de trigo foi parcialmente destruído por uma explosão de nuvem de pó. A investigação do evento apontou “descarga eletrostática” como provável fonte de ignição.

Revestimentos não condutores em metais

Revestimentos plásticos são usados como revestimentos resistentes à corrosão em tanques de estocagem e outros equipamentos de processo que podem conter atmosferas inflamáveis. Estes revestimentos podem se tornar eletrostaticamente carregados e se forem não condutivos então eles irão reter carga mesmo estando em contato íntimo com uma placa metálica aterrada. Como no caso dos sólidos, o uso de revestimentos não condutivos pode introduzir o perigo de uma descarga acendível da superfície não condutora e a presença de um não condutor pode impedir a dissipação de carga do conteúdo do container.

Uma diferença importante entre as duas, entretanto, é o nível de carga no não condutor que é requerido para iniciar a descarga. O início de uma descarga requer um certo valor de força de campo elétrico externo à superfície não condutora. Para revestimentos relativamente finos, o componente de campo elétrico entre a carga superficial e o metal é maior do que o componente de campo direcionado para fora da superfície plástica.

Uma densidade total de carga maior é necessária portanto para obter descargas de um revestimento do que aquela necessária para um não condutor não isolado de mesma espessura e material. Densidades de carga paulatinamente maiores são necessárias na medida em que a espessura do revestimento é diminuída.



Pós

Em geral a carga eletrostática é gerada sempre que ocorrer separação de duas superfícies. Uma vez que, qualquer movimentação de pó envolve a aproximação e a afastamento de um grande número de superfícies de partículas, podemos assumir como geralmente válido que qualquer processo de movimentação de pó ou nuvens de pó irá resultar em geração de eletricidade estática. Os fatores que influenciam a natureza e magnitude da carga são as características elétricas e físicas do produto.

A maioria dos pós não são bons condutores de eletricidade. Nossa experiência indica que em condições de processo típicas da indústria de orgânicos, a resistividade de pós secos normalmente excede 10^8 ohm.m. Para os pós poliméricos os valores de resistividade estão na faixa de 10^{14} - 10^{16} ohm.m. A eletricidade estática é gerada em muitas etapas de processamento de pós, e em muitas delas a taxa de dissipação é baixa.

Entre os tipos de operações mais significativos para a geração de carga eletrostática temos:

- a- mistura, moagem, peneiramento, entornamento e micronização do produto
- b- movimento de pó em dutos de transporte
- c- movimento de material sobre esteiras e “chutes” de carga
- d- movimento de funcionários isolados
- e- movimento de veículos isolados

Não podemos assumir que um produto contendo elementos metálicos terá uma resistividade elétrica suficientemente baixa para evitar o acúmulo de eletricidade estática. Estudos revelam que tanto partículas de magnésio como de alumínio tornam-se quase não-condutoras após um processo de moagem; e que uma diferença de potencial de 6.000 volts AC poderia ser aplicada aos lados opostos de um cubo de 1 cm de alumínio em pó, antes de se estabelecer um curto-circuito.

Embora o nível de eletrificação não possa ser calculado, existem dados consideráveis à disposição na literatura. Estes indicam que para pós orgânicos, os níveis de carga variam de 10^{-11} C/kg em operações tais como entornar pós, até 10^{-14} C/kg em operações como moagem e transporte pneumático. O nível de eletrificação em qualquer operação específica pode ser determinada medindo-se o campo ao redor do pó ou no interior de uma nuvem, ou ainda medindo-se o

potencial produzido num container Faraday isolado da terra enquanto o pó é carregado. Pós poliméricos retém praticamente toda a carga gerada.

Uma diferença entre materiais poliméricos e não-poliméricos deveria ser enfatizada. No caso do primeiro, o fator controlador da carga é normalmente um processo de ionização, com a densidade de carga estando logo abaixo daquela requerida para produzir centelhas da superfície da partícula; no caso de materiais não-poliméricos, a condução elétrica desempenha o papel de determinar o nível de carga, e a resistividade pode determinar o nível de carga retido num pó dentro de um container condutor.

Em qualquer situação particular a possibilidade de uma descarga elétrica pode ser avaliada por medidas ou cálculos da força do campo dentro ou ao redor da nuvem. **Motin** sugeriu que para nuvens de pó com diâmetro de até 0,2; 1,0 e 3,0 m, as forças críticas de campo são 3.000, 1.000 e 600 kV.m⁻² respectivamente.

Na prática, os problemas mais sérios surgem quando o pó disperso se deposita na forma a granel, uma vez que o aumento na densidade de carga volumétrica aumenta a probabilidade de descargas. **Popov** e **Taubkin** relatam descargas tipo escova da superfície de partículas de polipropileno que se depositaram num ciclone após transferência pneumática. A natureza da descarga é novamente aquela tal que a energia total não pode ser usada para avaliar seu poder de ignição. A acendibilidade de descargas em pós a granel é um tópico que necessita de estudo adicional, sugerindo o uso do conceito de energia equivalente.

Atualmente, os perigos de uma descarga de pó a granel pode ser avaliada apenas com base nos acidentes reais. Uma recente explosão com açúcar foi atribuída à centelhas entre 2 lotes a granel do material. Isto indica que a centelha tinha uma energia equivalente de pelo menos 15 mJ - a energia de ignição mínima de centelha para uma nuvem de pó de açúcar.

A dissipação de carga eletrostática num dielétrico homogêneo é governada pela relação:

$$Q = Q_0 \exp(-4 \pi t / k \rho) \quad \text{onde,}$$

Q = carga após um intervalo de t segundos

Q₀ = carga inicial em Coulombs

k = constante dielétrica do material, adimensional

ρ = resistividade elétrica do material, em Ohm.m

Pós a granel não podem ser considerados um dielétrico homogêneo, da mesma forma que um líquido. Para alcançar uma carga aterrada a carga existente no centro de tambor cheio de pó deve atravessar várias barreiras. Embora a relação precisa que governa a dissipação de carga em pós a granel não tenha sido estabelecida ainda, a experiência mostra que a carga pode permanecer retida por intervalos na ordem de horas para os casos de graneis com resistividade na faixa de 10^{12} - 10^{14} ohm.m, mesmo quando se adota recipientes metálicos aterrados.

A taxa de dissipação da carga parece depender não apenas das propriedades elétricas do produto mas também de suas características físicas (tamanho de partículas, tipo de superfície, etc...). Por exemplo: uma camada de água adsorvida pode reduzir consideravelmente a resistência elétrica através da superfície de um pó e modificar a taxa de dissipação.

O tipo de recipiente também controla a taxa de dissipação. Pós, isolados da terra em tambores de polietileno, retém sua carga por intervalos maiores que aqueles em tambores metálicos.

A distribuição granulométrica das partículas tem um papel importante nos fenômenos de explosão com pós. Da mesma forma ocorre com carregamento estático. Quanto mais finas forem as partículas maior será a área superficial relativa, e conseqüentemente maior será a geração de carga. As maiores taxas de carregamento foram observadas em operações de micronização. Com aparelhagem apropriada, pode-se verificar que a carga eletrostática desenvolvida pelo movimento de um material micronizado é três vezes maior que a desenvolvida pelo material não-micronizado no mesmo movimento.

Como evitar a geração e o acúmulo de carga em pós

Qualquer movimento de produtos em pó gera carga eletrostática. Na prática, evitar completamente a geração de carga é difícil, se não impossível; e a medida de segurança lógica deve ser evitar o acúmulo de quantidades perigosas de carga em equipamentos, itens de instalação, funcionários e no produto. Dado a alta resistividade de muitos produtos, basta uma simples camada de pó para tenhamos um isolamento entre dois componentes de instalação.

Além do mais, juntas de borracha e outros polímeros isolantes são extensamente utilizadas em vedação, o que impede o livre fluxo de carga para a terra. Dessa forma, torna-se necessário o uso de cabos de aterramento entre todas as conexões.

Um operador de planta pode ser tornar carregado através do contato direto com um produto eletrostaticamente carregado, como por exemplo: enquanto amostra um tambor de pó; ou por indução. Estes operadores podem ser mantidos no potencial de terra através do uso de calçados e pisos anti-estáticos. Por outro lado, contaminação excessiva tanto dos calçados como do piso podem isolar um operador da terra.

A presença de equipamentos metálicos aterrados não evita o acúmulo de carga no produto propriamente dito. A taxa de dissipação da carga no pó em contato com um equipamento aterrado é uma função do tamanho da planta e das características elétricas do produto. Essa dissipação pode levar horas. Pela mesma razão, a presença de uma haste aterrada no centro do pó em muitos casos não aumentará de forma significativa a taxa de dissipação da carga.

Minimização da carga acumulada em pós

Praticamente existem duas formas para se minimizar o acúmulo de carga em pós: umidificação e ionização da atmosfera .

Uma umidade relativa alta freqüentemente resulta na formação de uma película condutiva nos equipamentos e produto, e isto proporciona o escoamento da eletricidade estática e reduz o perigo de ignição. Porém, deve-se mencionar que a dissipação de carga estática quando a umidade relativa é alta não se deve a qualquer aumento na condutividade do ar.

A resistência de superfície de um isolador pode diminuir de um fator de 10^6 , entre 30% e 90% da umidade relativa. Entretanto, é importante reconhecer que a carga num isolador não será dissipada mesmo em condições úmidas, a menos que haja um caminho condutor para a terra. Isto pode limitar a dissipação da carga do material a granel e a camada de água adsorvida não pode por si mesma remover carga da nuvem dispersa. O efeito principal da alta umidade numa nuvem de pó é produzir aglomeração das partículas e uma redução da dispersibilidade. Além

disso, alguma energia extra será necessária para aquecer e vaporizar a umidade durante a ignição. Todos estes efeitos tendem a reduzir a possibilidade de ignição.

Em geral, uma umidade relativa maior que 60% evita descargas por centelha, enquanto que não ocorre quase nenhum efeito estático em umidades relativas maiores que 75-80%, exceto em compostos que sejam repelentes a água.

Quando o ar está ionizado, se torna eletricamente condutivo e a carga em qualquer corpo eletrostaticamente carregado presente nesta atmosfera pode escoar para a terra. As duas formas principais de ionização são por fonte radioativa e descarga elétrica. O uso de fontes radioativa é bastante limitado. Além dos perigos associados à radiação, elas produzem taxas de descarga bastante baixas

Sempre que ocorre uma descarga elétrica no ar, toda a atmosfera vizinha a região da descarga fica ionizada e portanto torna-se condutora. Desta forma, se uma corrente de ar ionizada é direcionada para um corpo carregado, a carga deste corpo será dissipada para a terra. Uma vantagem de ionização elétrica sobre a radioativa é, sem dúvida, a geração muito maior de íons.

Com base no exposto, torna-se claro que as técnicas para remover eletricidade estática de produtos em pó tem aplicação limitada na indústria química e petroquímica em geral. Em muitas circunstâncias, a carga gerada durante o processo de manufatura permanecerá retida no produto por algum tempo.

Líquidos

A eletricidade estática é considerada um perigo tradicional já há muitos anos pela indústria química, petroquímica e petróleo. Um número bastante elevado de incêndios e explosões foram investigados e reportados como sendo decorrentes de ignição por descarga eletrostática. Existem até casos de descargas provocadas por espuma extintora entrando em tanques de estocagem, e que provocaram a ignição da atmosfera interna. A maioria dos hidrocarbonetos apresentam resistividade na faixa 10^{11} - 10^{15} ohm.cm e constante dielétrica na ordem de 2.

Como já mencionado anteriormente, a geração de carga eletrostática é um fenômeno de superfície e qualquer fator que contribua para aumentar a área de

contato, como por ex.: turbulência no caso dos líquidos, aumentará a taxa de carregamento eletrostático. Sempre que um líquido escoar numa tubulação haverá uma separação de carga na interface líquido-sólido.

Qualquer turbulência no líquido irá aumentar a área de contato na medida em que as camadas de líquido mais próximas da parede serão levadas a um contato mais íntimo com a superfície do tubo; o que produz quantidades crescentes de carga no líquido.

A taxa de carregamento eletrostático para qualquer líquido depende de sua velocidade linear de fluxo. Está demonstrado que a taxa de carregamento de hidrocarbonetos líquidos é aproximadamente proporcional ao quadrado da velocidade do fluxo. Enquanto existe a possibilidade de uma centelha em qualquer bolsão de vapor numa linha, o perigo principal associado com a carga gerada num escoamento líquido numa tubulação é o seu conseqüente acúmulo no tanque de estocagem ou vaso de processo ao final da linha, onde existe uma superfície líquido-vapor; a menos que seja dissipada.

Com base acima, qualquer acessório de tubulação que cause um aumento na velocidade de fluxo e portanto na turbulência, como por ex.: orifícios, válvulas de controle, sensores, curvas, etc... irá aumentar a taxa de carregamento eletrostático. Este acúmulo excessivo pode ser perigoso se a restrição estiver imediatamente antes da entrada do líquido num equipamento contendo uma mistura vapor-ar na faixa de inflamabilidade. Este perigo pode ser removido ou mesmo eliminado inserindo-se um certo comprimento de tubulação condutora aterrada entre a fonte de geração aumentada e o equipamento, a fim de possibilitar tempo suficiente para a carga escoar. A taxa de dissipação da carga é uma função do tempo de relaxamento do material, que por sua vez depende da resistividade elétrica do líquido.

Outras formas, através das quais se provoca um aumento considerável na taxa de carregamento em líquidos são: filtros, misturas multi-fásicas, sedimentação de água em tanques de estocagem, queda livre de líquidos e agitação mecânica.

Remoção da eletricidade estática em líquidos

Freqüentemente se acredita que o aterramento pode levar à segurança absoluta e os acidentes causados

por eletricidade estática devem, portanto, ser atribuídos a falhas no sistema de aterramento. Esta tese é incorreta. Com produtos de alta resistividade elétrica, a carga acumulada dissipa-se de forma lenta. Dessa forma, acúmulos de carga poder ocorrer num determinado produto, apesar da planta estar aterrada. Como já mencionado anteriormente, a dissipação de carga num líquido a granel é governada pela relação:

$$Q = Q_0 \exp(-4\pi t / k \rho) \quad \text{onde,}$$

Q = carga após um intervalo de t segundos

Q_0 = carga inicial em Coulombs

k = constante dielétrica do líquido, adimensional

ρ = resistividade elétrica do líquido em ohm.m

A constante dielétrica de muitos líquidos orgânicos não varia muito e é principalmente a resistividade elétrica do líquido que controla o tempo de dissipação da carga. Algumas empresas do setor petroquímico consideram que para proteger todas as operações com hidrocarbonetos a resistividade dos líquidos deveria ser inferior a 10^{11} ohm.cm. A carga num líquido com esta resistividade seria reduzida de um fator 10^6 num intervalo de tempo menor que 1 segundo após ter sido gerada.

Alguns produtos inflamáveis quando puros, tais como benzeno, tolueno ou ciclohexano, tem resistividade elétrica maior que 10^{11} ohm.cm e deve-se esperar que qualquer carga gerada durante o processo ou estocagem seja retida por um intervalo considerável e possa direta ou indiretamente causar uma centelha. Este perigo pode ser removido aumentando-se a condutividade elétrica dos produtos através da adição de agentes iônicos. A adição proposital de um aditivo anti-estático a um líquido de alta resistividade é a única forma de garantir a remoção de cargas geradas e portanto, precisa ser levada em conta como medida de proteção.

Por outro lado, devemos lembrar que a adição de um agente iônico a um líquido isolado da terra, como por ex.: tubos revestidos de borracha ou vasos vitrificados, pode aumentar o perigo. A redução da resistividade do líquido poderia criar condições que aumentam a possibilidade de descargas diretamente da superfície do líquido. Este perigo pode normalmente ser superado ajustando-se um plug metálico aterrado no fundo do vaso.



Fig. 3 e 4 – Muitos sistemas de aterramento são intertravados com as bombas e válvulas de bloqueio; de forma que nenhuma transferência pode ser iniciada se o caminhão-tanque e a instalação não estiverem no mesmo potencial.

Redução da geração de carga em líquidos

Uma das principais operações através das quais se gera carga eletrostática é o escoamento através de tubulações. A quantidade de carga gerada por líquidos de alta resistividade, tipo hidrocarbonetos, é aproximadamente proporcional ao quadrado da velocidade linear do líquido. Com misturas hidrocarboneto-água, uma velocidade linear de 1m/s geralmente é aceita como sendo um valor seguro.

Esguichar, derramar ou agitar uma camada de água no fundo de um tanque num fluxo à 1m/s pode ser considerado como uma operação branda e a emulsificação água-produto não será ampla. Por outro lado, em velocidades de fluxo menor que 1 m/s,

poderão ocorrer acúmulos de bolsões de água nos pontos baixos das linhas. Isto poderá subseqüentemente constituir um perigo, quando a taxa de fluxo aumentar e a água for arrastada, causando eletrificação.

Quando líquidos de alta resistividade estão sendo bombeados e um aditivo anti-estático não pode ser usado, como por ex.: por questões de qualidade, então diâmetros de tubulação para manter uma velocidade de fluxo $\leq 1\text{m/s}$ poderão reduzir a geração de carga até níveis aceitáveis. Além disso, deve-se privilegiar um “design” que reduza o número de acessórios restritivos de tubulação. O efeito negativo de restrições que não podem ser evitadas pode ser minimizado através da introdução de placas metálicas aterradas na tubulação, com comprimentos de 0,3 - 0,6 m após a restrição. Estas placas podem ser basicamente chicanas cilíndricas concêntricas com o tubo. O efeito da chicana é duplo:

- reduz a turbulência e mantém um gradiente de velocidade baixo entre as diferentes camadas de líquido;
- dissipa a carga no líquido através da superfície aterrada.

Controle

Uma descarga deve ser considerada como perigosa quando ela pode causar a ignição da atmosfera inflamável circundante e/ou causar choque físico ao pessoal local. Para que ocorra ignição a energia ou energia equivalente da descarga deve exceder a energia mínima de ignição da atmosfera inflamável circundante. Alguns valores típicos são apresentados na tabela ao lado.

A reação fisiológica do ser humano a um choque elétrico depende de muitos fatores. Mas via de regra, é necessário uma quantidade de energia maior que 500 mJ para produzir algum tipo de dano fisiológico. Na maioria das situações as descargas eletrostáticas não causam choques prejudiciais.

Os perigos da eletricidade estática podem ser minimizados pelo controle da geração da carga ou maximização da dissipação da mesma. As formas de se alcançar estes objetivos são bem menos estabelecidos para sólidos e pós do que para líquidos. No que tange ao controle da geração de carga, os sistemas de escoamento para pós são bem menos

amigáveis de se projetar, e a segurança é geralmente alcançada através da maximização da dissipação.

Sistema	Energia Mínima de Ignição (mJ)
acetileno – oxigênio	0,0002 - 0,0004
acetileno – ar	0,017 - 0,018
acetato de etila - ar	0,46
açúcar - ar	30
acetona – ar	1,15
amônia – ar	66
alumínio - ar	10
dissulfeto de carbono - ar	0,009
explosivos	0,001 - 0,1
farinha de trigo -ar	50
hexano -ar	0,24
metano –ar	0,28
metanol - ar	0,14
nuvens de pó no ar	0,05 - 5.000
propanol - ar	0,65
óxido de propileno – ar	0,19
resina epoxi - ar	9
zircônio - ar	5

Tab. 1 – Energia Mínima de Ignição (MIE) para alguns gases, vapores e poeiras

O aterramento dos condutores é a primeira salvaguarda contra o perigo da eletricidade estática em qualquer situação. O problema introduzido pelo uso crescente de materiais não condutores não é um problema de princípio, mas de prática. Numa planta fabricada de itens condutores e não condutores é necessário cuidado adicional para garantir que os últimos não isolem os primeiros da terra.

Para segurança intrínseca, todos os materiais não metálicos deveriam idealmente se tornar eletricamente condutores pela incorporação de aditivos apropriados. Muitos itens (equipamentos, calçados, pisos, etc...), particularmente aqueles fabricados de borracha, podem se tornar suficientemente condutores para evitar o acúmulo de níveis perigosos de carga. Ao mesmo tempo em que o perigo de materiais não condutores torna-se mais amplamente reconhecido, os materiais poliméricos tradicionais estão sendo desenvolvidos também na forma condutora.

Se, após uma consulta com a indústria de plásticos, um material não-metálico condutor satisfatório não

estiver disponível, poderá haver limitações quanto à especificação e uso de materiais não condutores. O tipo e extensão de qualquer limitação é melhor avaliada para uma situação particular determinando-se se a densidade de carga desenvolvida no não-condutor é suficiente para iniciar a descarga.

A dissipação da carga do pó pode em princípio se feita com uso de altas umidades relativas e/ou a ionização da atmosfera através de descargas elétricas ou fontes radioativas. Contudo, nenhuma destas medidas é amplamente utilizada em processamento de pó por apresentar certas dificuldades práticas. Altos níveis de carga exigem níveis inaceitáveis de umidade relativa e/ou ionização.

Quando a densidade superficial de carga está próxima de 10^{-5} C.m⁻², descargas de alta energia do pó podem ser evitadas inserindo-se hastes aterradas no pó. Estes dissipam a carga; entretanto, não por condução, mas por liberação da carga na forma de pequenas descargas para as hastes. Isto pode evitar as condições necessárias para ionização do ar dentro do container e então eliminar a possibilidade de descargas de alta energia, que são capazes de causar choque físico. Porém, o poder de ignição das descargas pequenas não é conhecida e até de dados adicionais estejam disponíveis deve-se tomar cuidado ao usar esta técnica na presença de gases, vapores ou nuvens de poeiras inflamáveis.

Nas operações de processamento de pó a extensão na qual medidas particulares são necessárias depende muito do tipo e sensibilidade do material processado.

Em instalações processando pós sensíveis ou que contenham gases e vapores inflamáveis além do pó, onde a possibilidade de ignição a partir de eletricidade estática não pode ser completamente eliminada, então pode ser necessário aplicar os métodos normais de proteção contra explosão. Numa planta com pós, o perigo da eletricidade estática não pode ser considerado isoladamente e em muitas situações ocorrem várias fontes de ignição em potencial que demandam a provisão de proteção contra explosão independente do nível de eletricidade estática. Quando uma proteção contra explosão está presente, então a proteção contra estática fica frequentemente limitada ao aterramento da planta e, onde apropriado, do pessoal. Por outro lado, em situações onde a eletricidade estática oferece o único perigo significativo, pode ser mais prático e econômico eliminar a possibilidade de uma descarga eletrostática do que instalar proteção contra explosão.

Conclusões

Da eletrificação de líquidos, pós, sólidos e revestimentos não condutores pode resultar tanto o perigo de ignição como o de choque físico. A solução ideal para sólidos e revestimentos é o uso de material não-metálico eletricamente condutor. Caso estes não estejam comercialmente disponíveis em todas as formas requeridas é necessário avaliar a possibilidade de descargas dos elementos não-condutores em qualquer situação na qual eles devam ser usados. Em particular, deve-se considerar a possibilidade de descargas de alta energia a partir do conteúdo de recipientes não-condutores.

Embora eletricidade estática possa representar um perigo de ignição em plantas de processos, existem também normalmente muitas outras fontes de ignição presentes, que também precisam ser controladas. Uma análise cuidadosa de todos os aspectos de projeto, operação e características dos produtos é vital, antes de se estabelecer a “exclusão de todas as fontes de ignição” como base de segurança.

As avaliações necessárias podem, a princípio, ser feitas numa maneira qualitativa ou semi-quantitativa; mas podem ser mais precisas e produzir medidas de proteção mais eficazes se houver dados adequados sobre o comportamento do sistema em questão. Isto implica numa avaliação mais especializada, com ensaios de laboratório para determinar por ex.: resistividade, decaimento de carga, energia mínima de ignição ou comportamento da explosão.

Autor:

P. E. Pascon, Eng. Químico, faz parte da equipe profissional da **Processos - Soluções de Engenharia**, empresa especializada nas disciplinas de segurança de processos, prevenção de perdas e proteção ambiental (www.processos.eng.br).

Referências :

1. National Fire Protection Association, 2000, NFPA 77 (Recommended Practice on Static Electricity) – Quincy, MA, U.S.A.;
2. American Petroleum Institute, 1998, RP 2003 (Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning and Stray Currents) – Washington, DC, U.S.A..