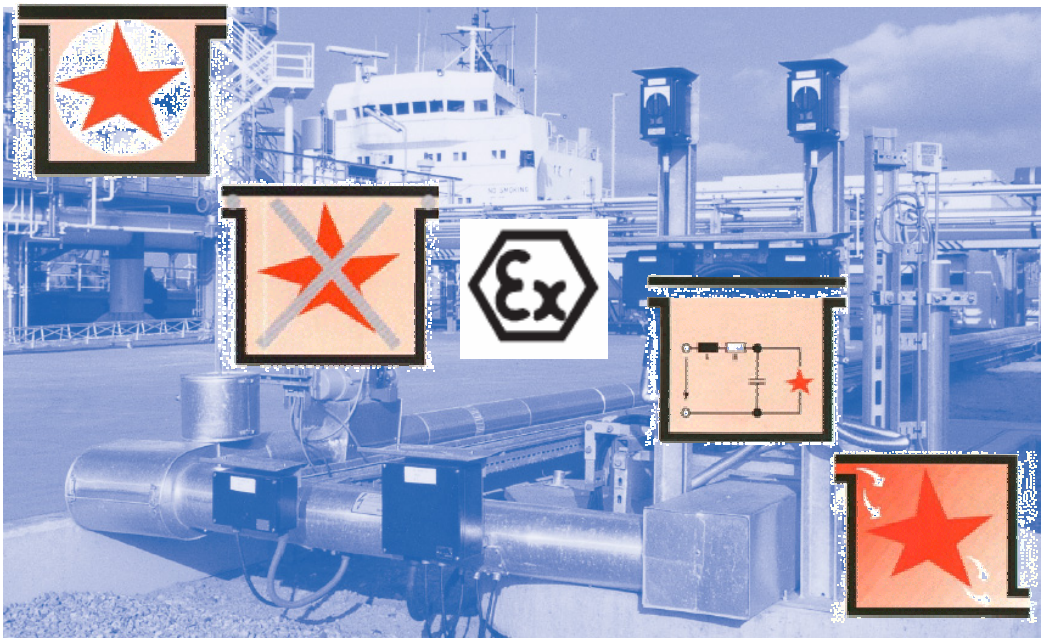
Instalações Elétricas em Áreas Classificadas

5ª. edição



Marco Antônio Ribeiro

Instalações Elétricas em Áreas Classificadas

5ª. edição

Marco Antônio Ribeiro

Dedicado a **Maurício Kurcgant** e **Meva Su Duran,** meus amigos da Foxboro. E também à **Foxboro**, onde aprendi o pouco que sei do assunto.

Quem pensa claramente e domina a fundo aquilo de que fala, exprime-se claramente e de modo compreensível. Quem se exprime de modo obscuro e pretensioso mostra logo que não entende muito bem o assunto em questão ou então, que tem razão para evitar falar claramente. (Rosa Luxemburg)

© 2004, 2003, 1993, 1989, 1980, Tek Treinamento & Consultoria Ltda.
Salvador, Verão 2004

Prefácio

Na década de 1970, o autor acompanhou a implantação do pólo petroquímico integrado de Camaçari, BA, primeiro local do Brasil onde foi aplicada, de modo consistente, a técnica de proteção de segurança intrínseca à instrumentação eletrônica. Durante muito tempo e em várias palestras, ele foi questionado acerca de classificação de áreas perigosas, equipamentos elétricos em áreas perigosas, exigências das áreas perigosas. Assim, ocorreu ao autor que se houvesse um manual técnico disponível que tratasse das áreas perigosas e seus problemas correlatos, ele simplificaria o trabalho de muitos técnicos. Há muitas publicações, no exterior, relacionadas com áreas perigosas, incluindo as normas para a construção e teste de desempenho dos instrumentos, normas de instalação, normas e manuais de classificação de áreas perigosas. Porém, ainda não é disponível, no Brasil e em português, sobre os aspectos específicos das áreas perigosas.

Este trabalho foi escrito com o objetivo especifico de informar aos engenheiros e técnicos de instrumentação, eletricidade, operação e laboratório químico que estejam envolvidos, ocasionalmente ou de modo constante, com os vários aspectos de instalações elétricas em áreas perigosas. Ele pretende ajudar a remover medos, preconceitos, conceitos errados e a falta de conhecimento especifico.

Este trabalho não pretende fornecer detalhes das necessidades que aparecem em muitas normas publicadas sobre o assunto. Quando o leitor encontrar referência de algum documento ou norma, deve consultar a ultima edição deste documento e desta norma. A maioria das normas é atualizada com freqüência e isso implica em freqüentes revisões, ampliações e modificações de alguns assuntos.

O autor se sentirá gratificado e terá justificada a feitura deste trabalho, se a partir dos problemas aqui levantados, as instituições competentes (em todos os sentidos) passassem a trabalhar de modo que também no Brasil, fosse proporcionado o local seguro onde todos pudessem trabalhar com segurança e saúde.

Críticas destrutivas são bem vindas, pois o autor é especialista em proteção, no endereço:

Marco Antônio Ribeiro
Rua Carmem Miranda 52, A 903, 41820-230 – Salvador, BA
Fone (071) 452-3195, Fax (071) 452-4286 e Cel. (071) 9989-9531

Correio eletrônico: **marcotek@uol.com.br**

Autor

Marco Antônio Ribeiro nasceu em Araxá, MG, no dia 27 de maio de 1943, às 7:00 horas A.M.. Formou-se pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em Engenharia Eletrônica, em 1969.

Trabalhou na Foxboro, durante 14 anos, onde fez vários cursos nos Estados Unidos (Foxboro, MA e Houston, TX) e em Buenos Aires, Argentina.

Foi professor da UFBA e no CENTEC. Mesmo sendo engenheiro P.S. (puro e simples), ministra cursos de pós graduação na UFBA e Unit e Petrobras.

Há dez anos dirige a Tek (*)Treinamento e Consultoria Ltda, firma pequeníssima voltada para treinamento na área de Instrumentação, Automação, Controle de Processo, Medição de Vazão e Nível, Cálculo de Incerteza na Medição, Metrologia Industrial, Instalações Elétricas em Áreas Classificadas. É certamente difícil ser um especialista competente em numerosos assuntos tão ecléticos, porém ele se esforça continuamente em sê-lo.

Gosta de xadrez, corrida, fotografia, música de Beethoven, leitura, trabalho, curtir a vida.

Já correu três maratonas, todas abaixo de 3 h 30 min. Diariamente corre entre 8 e 10 km e para descanso mental, joga xadrez relâmpago com amigos disponíveis. Possivelmente, é o melhor jogador de xadrez entre os corredores e o melhor corredor entre os jogadores de xadrez, o que realmente não é grande coisa. E que também não contribui nada para as *Instalações Elétricas em Áreas Classificadas*.

(*) *Tekinfim* (Tek) foi seu apelido no ITA, pois só conseguiu entrar lá na terceira tentativa. Mas o que conta é que entrou como "bicho" e saiu engenheiro eletrônico. O que foi um grande feito para um bóia fria do interior de Minas Gerais.

Conteúdo

Segurança e Normas 1

Objetivos de Ensino 1

1. Instrumentação e segurança 1

2. Historia 2

3. Normas e diretivas 3

2. Normas no Brasil 3
2.1. INMETRO 3
2.2. ABNT 4
2.3. Normas Petrobras 5
2.4. Laboratórios certificadores 5

3. Normas internacionais 5
3.1. ISO 5
3.2. IEC 5
3.3. Visão geral das normas 6
3.4. Diretivas 9

4. Diretiva 94/9/EC (ATEX 95), 10
4.1. Escopo da aplicação 10
4.2. Exigências essenciais 11
4.3. Conteúdo da marcação CE 11
4.4. Conformidade CE 15
4.5. Categorias dos equipamentos 16
4.6. Produto no mercado 16
4.7. Atribuição da Conformidade 16
4.8. Manuais de instrução 17
4.9. Fabricação 17
4.10. Marcação 18
4.11. Declaração de conformidade 18
4.12. Controle interno da produção 19
4.13. Colocação em serviço 19

5. Diretiva 1999/92/EC (ATEX 137) **20**
5.1. Escopo da aplicação 20
5.2. Diminuição e estabelecimento dos riscos de explosão 20
5.3. Classificação de Zonas 23
5.4. Documento de proteção contra explosão 23
5.5. Anexo IIA: 24
5.6. Anexo IIB: 25
5.7. Anexo III 25

6. Normas nos EUA 26
6.1. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) 26
6.2. Factory Mutual (FM) 26
6.3. Underwriter Laboratories (UL) 26
6.4. Código Elétrico Nacional (NEC - National Electrical Code) 26
6.5. Instrumentation, Systems and Automation (ISA) 28

7. Conclusão 28

Explosão e Incêndio 29

Objetivos de Ensino 29

1. Conceitos Básicos 29
1.1. Definições 29

2. Combustão e Explosão 31
2.1. Introdução 31
2.2. Condições para Ignição 32
2.3. Processo de Combustão 33
2.4. Propagação da Combustão 34
2.5. Energia Crítica de Ignição 34
2.6. Temperatura de Ignição 35
2.7. Ponto de Fulgor (*Flash*) 35
2.8. Limites de Inflamabilidade 36
2.9. Mistura mais facilmente inflamável 37

Energia (mJ) 38
2.10. Combustíveis 38
2.11. Substâncias inflamáveis 38
2.12. Gases de Interesse 40

3. Fonte de Energia Elétrica 42
3.1. Introdução 42
3.2. Circuito Capacitivo 42
3.3. Circuito Indutivo 42
3.4. Circuito Resistivo 43
3.5. Faísca, Arco e Efeito Corona 43
3.6. Contato Elétrico 44
3.7. Faísca Mecânica 44
3.8. Solda e Corte 44
3.9. Fornalha e Forno 44
3.10. Turbina e Caldeira 45
3.11. Superfície Quente 45
3.12. Outras Fontes de Ignição 45
3.13. Conclusão 46

Classificação de Áreas 47

Objetivos de Ensino 47

1. Terminologia e Definições 47
1.1. Perigo (*hazard*) 47
1.2. Grau de perigo (*danger*) 47
1.3. Prejuízo (*damage*) 47
1.4. Segurança (*safety*) 47
1.5. Risco (*risk*) 47
1.6. Normal e Anormal 47
1.7. Ventilação 48
1.8. Densidade 48

2. Área Perigosa 49
2.1. Avaliação do risco 49
2.2. O que a área perigosa não é 49
2.3. O que área perigosa é 50
2.4. Área Não Perigosa 50

3. Classe, Grupo, Zona 50
3.1. Classe 51
3.2. Grupo 52
3.3. MESG (Máximo Espaçamento Seguro Experimental) 53
3.4. Zonas 57
3.5. Enfoque Quantitativo 60
3.6. Classes de Temperatura 61

4. Classificação da Área 63
4.1. Responsabilidade 63
4.2. Parâmetros 63
4.3. Métodos de Classificação 65
4.4. Método da fonte de perigo 65
4.5. Método generalizado 67
4.6. Extensão de áreas em locais bem ventilados 67
4.7. Extensão de áreas em locais mal ventilados 69

5. Figuras de Classificação 70

6. Desclassificação de Área 74

7. Áreas com pós 74
7.1. Princípios Gerais 74
7.2. Método de classificação 75
7.3. Redução do perigo 75
7.4. Tipos de proteção para áreas com pó explosivo 75

Técnicas de Proteção 77

Objetivos de Ensino 77

1. Instalação elétrica 77
1.1. Equipamento elétrico 77
1.2. Equipamento elétrico para área classificada 77
1.3. Provisões gerais 78

2. Princípios Gerais 78
2.1. Introdução 78
2.2. Proteção primária 79
2.3. Proteção secundária 81

3. Parâmetros para seleção 83
3.1. Segurança 83
3.2. Custo do Equipamento 83
3.3. Custo da Instalação 83
3.4. Manutenção 84
3.5. Flexibilidade 84
3.6. Parâmetros técnicos 84

4. Responsabilidades 86
4.1. Obrigações do fabricante 86
4.2. Obrigações do instalador 86
4.3. Obrigações do operador 86
4.4. Medidas organizacionais 87

Tipo de Proteção 90

5. Técnicas Comerciais 91
5.1. Introdução 91
5.2. Segregação 91
5.3. Prova de chama ou de explosão 91
8.4. Pressurização ou purga 92
8.5. Segurança Intrínseca 93
8.6. Segurança aumentada 94
8.7. Equipamento não acendível 95
8.8. Encapsulamento 95
8.10. Hermeticamente Selado 97
8.11. Imersão em Óleo 97
8.12. Enchimento de Areia 99
8.13. Tipos de proteção Ex-n 99

9. Ignição Contínua 103

10. Proteção e Zona 105
10.1. Proteção para Zona 0 (Cat 1) 105
10.2. Proteção para Zona 1 (Cat 2) 106
10.3. Proteção para Zona 2 (Cat 3) 106

Conclusão Erro! Indicador não definido.

Prova de Chama, Ex-d 109

1. Princípios e conceitos 109

2. Caixa ou Invólucro 111
2.1. Materiais 111
2.2. Resistência Mecânica 111
2.3. Tamanho da Caixa 112
2.4. Espaçamentos 112
2.5. Furos 113

3. Juntas 113
3.1. Introdução 113
3.2. Juntas Planas 114
3.3. Juntas Rosqueadas 114
3.4. Juntas Rabbet 115
3.5. Juntas Labirinto 115
3.6. Juntas Eixo 115
3.7. Condições Dinâmicas da Junta 115

4. Flanges 116

5. Selos 116

6. Pressão e Temperatura 116
6.1. Pressão da explosão 116
6.2. Condições de Operação 117
6.3. Temperatura da Superfície 117
6.4. Acúmulo de Pressão 117
6.5. Transmissão da ignição interna 117

7. Equipamentos Elétricos 118
7.1. Chave 118
7.2. Disjuntores 119
7.2. Transformadores 119
7.3. Solenóides 119
7.4. Resistores, Reatores 120
7.5. Motores e Geradores 120

8. Prova de Tempo 121

9. Prova de Ignição e Vedado a Pó 121

10. Marcação 122

11. Fiação Elétrica 122

12. Manutenção 124

13. Cuidados 125

14. Testes e Aprovação 126
14.1. Teste de Explosão 126
14.2. Teste de Temperatura 127
14.3. Teste Hidrostático de Pressão 127
14.4. MESG 127
14.4. Potência de dissipação 128

15. Vantagens e Desvantagens 128

16. Normas Aplicáveis 128

Pressurização, Ex-p 129

Objetivos de Ensino 129

1. Princípio de Funcionamento 129

2. Tipos de Purga 130
2.1. Purga Tipo Z 130
2.2. Purga Tipo Y 131
2.3. Purga Tipo X 131

3. Vantagens e Desvantagens 132

4. Testes 132

5. Marcação 132

6. Normas Aplicáveis Erro! Indicador não definido.

7. Pressurização e Ventilação 135
7.1. Introdução 135
7.2. Pressurização e Ventilação 135
7.3. Tomada do Ar de Pressurização 135
7.4. Unidades de Ventilação 136
7.5. Projeto do Sistema 136
7.6. Purga contra Pó 136

Segurança Intrínseca, Ex-i 137

Objetivos de Ensino 137

1. Introdução 137
1.1. Histórico 137
1.2. Conceito 137

2. Definições 138

4. Enfoques da SI 141
4.1. Conceito de Sistema 141
4.2. Conceito de Entidade 141
4.3. Sistema de segurança intrinseca 142

5. Barreira Zener de Energia 143
5.1. Conceito 143
5.2. Instalação 144
5.3. Descrição 152
5.4. Especificação 152
5.5. Escolha 152

Equipamento IS 152

Aplicação (%) 152
5.6. Tipos de barreiras 153
5.8. Testes 153

6. Unidades de Interface 153
6.1. Fonte de Alimentação 154
6.2. Isolador Óptico 154
6.3. Relé Isolador 154
6.4. Equipamento Autocontido 154

6.5. Válvula Solenóide 155
6.6. Aplicações 155

7. Instalação 156
7.1. Instrumentos da Área Perigosa 156
7.2. Instrumentos da Área Segura 157
7.3. Isolação de circuitos IS 158
7.4. Fiação 158
7.5. Caixas de Passagem 160
7.6. Aterramento 160
7.7. Instalações com Fieldbus 161

8. Manutenção 163

9. Inspeção 164

10. Certificados 165

11. Normas 165

12. Conclusão 166

Segurança aumentada Ex-e **167**

Objetivos de Ensino 167

1. Principio de funcionamento 167

2. Características 167
2.1. Dissipação de potência 167
2.2. Entradas de cabos 167
2.3. Transformadores 168
2.4. Conectores 168
2.5. Distância mínima no circuito (*creepage*) 168
2.6. Distância mínima no ar (*clearance*) 168
2.7. Temperatura limite 169
2.8. Motor com segurança aumentada 169
2.9. Classificação mecânica invólucro 170
2.10. Isolação 170
2.11. Terminais e conectores 171
2.12. Caixas de junção e de passagem 171
2.13. Luminárias 172

3. Locais permitidos 172

4. Aplicação 172

5. Tipos de proteção combinados 172

6. Marcação e normas 172

Instalação e Manutenção **173**

Objetivos de Ensino 173

1. Definições 173
1.1. Ajuste 173
1.2. Calibração 173
1.3. Inspeções 173
1.4. Montagem 173
1.4. Manutenção 173
1.5. Operação 173
1.6. Recondicionamento 173
1.7. Reparo 173
1.8. Sintonia 173

1. Normas de instalação 174

2. Classificação de áreas 174

3. Documentação 176

4. Instalações piloto 176

5. Seleção do equipamento 176
5.1. Equipamento para Zona 0 177
5.2 Equipamento para Zona 1 177
5.2 Equipamento para Zona 2 177

6. Exigências de instalação 177
6.1. Proteção contra contato 177
6.2. Equalização de potencial 177
6.3. Instalações com proteção contra raios 178
6.4. Cargas eletrostáticas 178

7. Manutenção da instalação 178
7.1. Tipos de manutenção 178
7.2. Fundamentos da manutenção 178
7.3. Inspeção 179
7.4. Parâmetros da manutenção 179
7.5. Implementação da manutenção 180
7.6. Manutenção de Ex-d 180
7.7. Manutenção de Ex-p 181
7.8. Manutenção de equipamento Ex-e 181
7.9. Manutenção de equipamento Ex-i 186
7.10. Manutenção da fiação elétrica 187
7.11. Cabos e condutores 187
7.5. Sistemas de conduíte 188

8. Proteção elétrica 188
8.1. Fusível do equipamento 188

9. Desligamento 189
9.1. Desligamento de emergência 189
9.2. Chave de segurança 189
9.3. Chaveamento de dispositivos 189
9.4. Desconexão de segurança 189

10. Reparo no equipamento Ex- 189

Perigos da Eletricidade 191
Objetivos 191
1. Introdução 191
2. Choque 191
2.1. Conceito 191
2.2. Classes de Circuitos 191
2.3. Efeitos 192
2.4. Outros Fatores 192
2.5. Causas de Choque 193
2.6. Falhas de Isolação Elétrica 193
2.7. Falhas do Equipamento 194
2.8. Proteção Contra Choque 194
2.9. Cuidados com Eletricidade 195
3. Eletricidade Estática 195
3.1. Introdução 195
3.2. Aparecimento de Cargas Estáticas 195
3.3. Relaxação 196
3.4. Influência da Umidade 196
3.5. Eliminação da Eletricidade Estática 197
4. Raio (*Lightining*) 197
4.1. Conceito 197
4.2. Proteção Contra Raios 198
Conclusão Final 200

Terminologia de Segurança 201
ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) 201
Anormal 201
Aprovado 201
Área Perigosa 201
Área Segura 201
Atmosfera Explosiva 202
Barreira de Segurança Intrínseca 202
BASEEFA 202
CE 202
CENELEC 202
Certificado de Segurança Intrínseca 202
Circuitos vizinhos não intrinsecamente seguro 202
Classe 202
Classificação 202
Componentes não susceptíveis a falha 203
Condições Atmosféricas 203
Condições de Explosão 203
Componentes susceptíveis a falha 203
CSA 203
DIN 204
Diretiva 94/9/EC 204
Diretiva 1999/92/EC 204
Divisão 204
Encapsulamento 204
Enchimento de areia 204
Energia mínima de ignição 204
Equipamento 204
Especificação 205
Ex 205
Explosão 206
Faixa inflamável 207
Fiação 207
Flare 207
FM 207
Fonte de Perigo 207
Gás Inflamável 207
Grupo 207
Hermeticamente Selado 207
IEC 207
Imersão em óleo 207
Inerte 207
Instalação de Sistemas Intrinsecamente Seguros 207
IP 208
ISO 208
Ligação equipotencial 208
Líquido inflamável 208
Marcação 208
Material inflamável 208
MESG 208
Método de Proteção Contra Explosão 208
Mínima energia de ignição 208
Não Faiscador 208
Não Incenditivo (Não acendível) 209

NBR 209
NEC 209
NEMA 209
NFPA 209
Normal 209
OSHA 209
Perigo (*hazard*) 209
Pó Inflamável 209
Prejuízo (*damage*) 209
Pressurização 210
Proteção Especial 210
Prova de 210
PTB 210
Purga 210
Resistente a 210
Respiração Restrita 210
Risco (*risk*) 210
Segregação 210
Segurança (*safety*) 211
Segurança aumentada 211
Segurança Intrínseca 211
Selagem 211
Selo 211
Técnica de Proteção 211
Temperatura de ignição 211
Temperatura de ignição de uma atmosfera explosiva de gás 211
Temperatura de queima lenta 211
Terra 211
Totalmente Fechado 211
UL 211
Unidade de Isolação 211
Uso Geral 212
Ventilação 212
Zona 212

Referências Bibliográficas **213**

Normas de Laboratórios e Institutos 213
10. Livros 215

Catálogos de Fabricantes 215

Segurança e Normas

Objetivos de Ensino

1. *Mostrar a necessidade do conhecimento e aplicação de normas internacionais.*
2. *Apresentar a situação no Brasil, Europa, EUA e mundo globalizado, listando as principais normas relacionadas com segurança.*
3. *Listar e apresentar as principais organizações que editam normas e laboratórios credenciados que fazem testes e emitem certificação de equipamentos com uso pretendido em área com atmosfera potencialmente explosiva.*

1. Instrumentação e segurança

As indústrias que naturalmente fabricam, armazenam e movimentam produtos explosivos e inflamáveis são as de petróleo e gás natural, petroquímicas, fabricantes de tinta e solvente. Todas estas indústrias requerem, de algum modo, equipamento e instrumento elétrico. Exemplos de equipamentos elétricos: motores para acionar bombas, ventiladores e esteiras, lanternas e luminárias para clarear os ambientes, chaves e disjuntores para controle e proteção.

Os instrumentos elétricos são necessários para a medição, monitoração, controle e automação destes processos. Assim, cada componente elétrico operando em uma atmosfera explosiva é uma fonte possível de ignição e portanto um perigo potencial para os trabalhadores e seu ambiente.

O interesse dos fabricantes e usuários de instrumentos de medição e controle de processos pelo problema da segurança das instalações industriais está relacionado principalmente com o número dos instrumentos elétricos usados em áreas perigosas. Enquanto havia a predominância do uso da instrumentação mecânica e pneumática nas instalações de processos petroquímicos e de refinarias de petróleo, não havia a preocupação da segurança da planta, relacionada com os instrumentos de controle, porque o ar comprimido de alimentação não constituía risco de incêndio ou de explosão na área industrial. Quando apareceram os primeiros instrumentos eletrônicos para o controle de processo, sua quantidade era pequena e seu uso era restrito a algumas áreas não perigosas da planta, Mesmo assim, nesta época, foram desenvolvidas as primeiras técnicas de proteção para evitar incêndio e explosão na área perigosa.

Fig. 1.1. Equipamento elétrico

A primeira técnica desenvolvida e aplicada comercialmente foi a de prova de explosão ou a prova de chama. Porém, a pequena quantidade de instrumentos eletrônicos utilizados não constituía motivação suficiente para a melhoria e a otimização destas técnicas de segurança existentes. Mesmo se considerando o alto custo e a baixa segurança dessas técnicas, a pequena quantidade de

instrumentos elétricos não justificava a redução dos custos da instalação e o aumento do grau de segurança com o mesmo custo. Essa situação perdurou desde os primórdios da instrumentação, circa de 1920 até a década de 1950.

Atualmente, vários fatores concorrem para o uso intensivo e extensivo de instrumentos eletrônicos, como:

1. A necessidade de instalações cada vez maiores, mais espalhadas, mais integradas e interligadas.
2. A utilização intensiva dos computadores, microprocessadores e sistemas digitais na medição e controle do processo,
3. A exigência de controles mais rápidos, eficientes, versáteis, sofisticados, precisos e exatos.
4. A necessidade crescente do uso de instrumentos analíticos, tais como cromatógrafos, instrumentos de análise de composição, colorímetros, medidores de pH, para suplementar e otimizar o controle das malhas convencionais de pressão, vazão, temperatura e nível.

Tais fatores tornaram padrão e obrigatória a escolha da instrumentação eletrônica, mesmo para o uso em áreas perigosas. Assim, grandes instalações com instrumentação eletrônica, compreendendo centenas e até milhares de equipamentos elétricos, obrigaram a reconsideração e reavaliação, com o inevitável aperfeiçoamento, dos métodos usados para garantir a segurança dos locais perigosos da planta industrial. O custo excessivo de uma malha de instrumentos eletrônicos à prova de explosão, quando multiplicado por 100 ou por 1000 se torna proibitivo. Mesmo sendo de alto custo, a instalação poderia ser impraticável ou insegura, por causa da necessidade de manutenção e de testes de rotina.

Assim pressionados, os interessados envolvidos, principalmente os usuários e os fabricantes, começaram a pesquisar e a desenvolver métodos de segurança mais convenientes, mais econômicos e mais eficazes, mesmo em situações rotineiras de manutenção e testes. Porem, a solução desses problemas, de fornecer mais segurança aos instrumentos elétricos, acarretou outros problemas paralelos.

Durante muitos anos, os usuários desenvolveram suas práticas e normas próprias. As normas eram praticamente individuais e exclusivas e os fabricantes de instrumentos precisavam satisfazer a todas. A falta de padronização tornava altíssimo o custo dos instrumentos. O aumento do numero de instrumentos eletrônicos com classificação elétrica especial para o uso seguro em locais perigosos, também pressionou os envolvidos na direção da padronização. Era necessária a padronização, principalmente por economia. No princípio não havia normas, depois, apareceram normas em demasia, as vezes até dispersivas e conflitantes. Precisou-se, então, de uma unificação das normas e práticas existentes.

2. Historia

O fato as explosões raramente ocorrerem, a despeito de inúmeras atmosferas explosivas na indústria envolvendo equipamentos e instrumentos elétricos, prova que estas medidas de segurança são efetivas e aplicadas com sucesso.

No início, por causa da ocorrência do metano e pó de carvão, que são explosivos, nas minas, foi desenvolvido o básico da proteção contra explosão das atmosferas perigosas pelos equipamentos elétricos. Foi feito um trabalho intensivo para encontrar meios para evitar, de modo confiável, o contato entre a atmosfera potencialmente explosiva e as fontes de ignição, originadas do uso de equipamento elétrico, e assim, evitar explosões.

Após experiências amargas no inicio, as explosões em minas ficaram mais raras e equipamento elétrico bem monitorado foi utilizado conforme normas com muito alta segurança.

Atualmente, a construção de equipamento protegido contra explosão tem já deixado a engenharia elétrica. Foi demonstrado que o equipamento não elétrico também requer testes e, no mínimo, avaliação. Aqui, o conhecimento acerca da proteção contra explosão de equipamento elétrico que os fabricante tem coletado através de décadas é muito importante e agora ele também beneficia o fabricante de equipamento não elétrico.

Normas universais e únicas para equipamento elétrico foram editadas na forma de diretivas e relatórios ISO/IEC.

A comunidade internacional decidiu que é obrigatório a exigência de projeto uniforme para os sistemas, equipamentos e componentes de proteção contra explosão e para isso editou várias normas.

Com a ajuda destas normas, o fabricante está seguro de assumir durante o projeto a avaliação da proteção contra explosão, que ele desenvolveu em sistemas, equipamentos e

componentes seguros, que serão testados pela aplicação de critérios uniformes e obrigatórios em laboratórios de teste autorizados. Os centros de teste fornecem uma certificação do protótipo independente do fabricante que garante uma qualidade uniforme todo o tempo, com relação à segurança requerida do equipamento protegido contra explosão, em um nível de segurança muito alto e melhorado.

Estes certificados ou avaliações de protótipo fornecidos pelo fabricante são os pré-requisitos para a produção e distribuição de sistemas, equipamentos e componentes em nível de segurança muito alto e melhorado.

As exigências constantes e uniformes de qualidade são, de acordo com as normas, também requeridas para o tipo de instalação e para o serviço requerido para manter o estado seguro. Os parâmetros técnicos são também definidos nestas normas.

A classificação uniforme do equipamento quanto à explosão e perigo é a base para a seleção e classificação de sistemas e equipamentos, incluindo sua instalação. De acordo com as novas diretivas, um documento Ex é a precondição para montar e operar uma facilidade com perigo de explosão. Somente tal documento torna possível selecionar, instalar, operar, manter e eventualmente reparar os sistemas, equipamentos e componentes, como requerido.

Usando as normas e diretivas, um sistema consistente é criado que permite a prevenção bem sucedida de explosões para a proteção efetiva de pessoal, ambiente e propriedade. O objetivo é: segurança para o pessoal, meio ambiente, planta e máquinas

3. Normas e diretivas

O assunto de norma, código, certificação e aprovação causam apreensão por causa da complexidade e variedade dos documentos envolvidos e a tendência de novas normas serem publicadas, significando modificações na rotina de trabalho. Qualquer norma deve ser preparada através de um método democrático, aberto, transparente e consensual, que permita uma larga discussão e revisão publicas. Elas devem ser equilibradas, de modo que os interesses de um segmento não prevaleçam sobre os de outros. As categorias de interesse envolvidos são: fabricante, projetista, usuário final, instalador, responsável pela manutenção, autoridade governamental, entidade de pesquisa e desenvolvimento, laboratório de teste e aprovação, firma de seguro e consultor independente.

Os atributos desejáveis de um laboratório de certificação são: ser incorruptível, empregar pessoal competente, educado e amigavelmente disponível, cobrar os serviços executados e emitir os certificados em prazos aceitáveis. Deve possuir um conjunto de normas e segui-las com responsabilidade, interpretando-as do modo menos oneroso possível. Não se deve gastar o tempo sonhando e criando razões para não emitir o certificado, em vez de emiti-lo concretamente.

O ideal é que todos os equipamentos elétricos do mundo fossem certificados e aplicados segundo normas aceitas internacionalmente, pois os perigos são os mesmos, em todas as plantas perigosas. Na prática isso não acontece. Há muitos interesses comerciais e políticos envolvidos que são explicados mas não justificados.

2. Normas no Brasil

A maioria das normas brasileiras se baseia nas normas européias, principalmente nas alemãs, que atualmente são a base das normas internacionais. Porém, há uma grande influencia das normas americanas, por causa da grande quantidade de firmas americanas instaladas no Brasil. Há muitas firmas no Brasil que ainda usam normas, terminologia e unidades inglesas, principalmente na área de petróleo, onde predominam as normas emitidas pelo Instituto Americano de Petróleo (API).

2.1. INMETRO

No Brasil, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) é o órgão que visa capacitar melhor a indústria nacional e dar mais segurança ao consumidor e trabalhador brasileiro. O INMETRO se localiza no município de Xerém, RJ. Ele conserva os padrões primários nacionais usados para fins legais, científicos e industriais.

Há duas normas seminais do Inmetro relacionadas com a segurança de locais com atmosfera potencialmente explosiva:

1. Portaria 176
2. Regra Específica

Portaria 176

A Portaria 176, de 17 JUL 2000, mantem a obrigatoriedade de que todos os equipamentos elétricos, acessórios e componentes, para atmosferas potencialmente explosivas, comercializados e utilizados no Brasil, em atendimento à legislação vigente, salvo as exceções previstas, ostentem a identificação da Certificação do Sistema Brasileiro de Certificação (SBC), em conformidade com a Regra Específica para a Certificação de Equipamentos Elétricos para Atmosferas Explosivas
(NIE DINQP 096).

Regra Específica

A Regra Especifica para Equipamentos Elétricos para Atmosferas Potencialmente Explosivas é uma norma que estabelece os critérios adicionais para o credenciamento de organismos de certificação de produto e equipamentos elétricos para atmosferas potencialmente explosivas.

2.2. ABNT

Fundada em 1940, a **ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)** é o órgão responsável pela normalização técnica no país, fornecendo a base necessária ao desenvolvimento tecnológico brasileiro. É uma entidade privada, sem fins lucrativos, reconhecida como único Fórum Nacional de Normalização. A ABNT é membro fundador da ISO (International Organization for Standardization) e representa o Brasil nesta organização.

A ABNT possui as seguintes normas sobre projeto, inspeções e ensaios de equipamentos elétricos usados em atmosferas explosivas:

NBR 5363, EB 239, ABR 98

Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Invólucros a prova de explosão - Tipo de proteção "d". (Baseada na IEC 79-1).

NBR 5410, NB 3, NOV 97

Procedimento: Instalações elétricas de baixa tensão.

NBR 5418, NB 158, MAR 95

Instalações elétricas em atmosferas explosivas.

NBR 5420, NB 169, ABR 92

Instalações elétricas em atmosferas explosivas – Invólucros com pressurização ou diluição contínua – Tipo de proteção Ex-p.

NBR 5456, TB 19-01, JUN 87

Eletricidade geral – Terminologia

NBR 6146, EB 1017, DEZ 80

Especificação: Invólucros de equipamentos elétricos - Proteção. (Baseada na IEC 529/76).

NBR 8368, CB 119, JAN 84

Classificação: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Temperatura máxima de superfície.

NBR 8369, NB 829, JAN 84

Procedimento: Marcação de equipamentos elétricos para atmosferas explosivas.

NBR 8446, EB 1483, ABR 84

Especificação: Aparelho de faiscamento para ensaio de circuitos intrinsecamente seguros. (Baseada na IEC 79-3).

NBR 8447, EB 1487, SET 89

Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Construção e ensaio de equipamentos elétricos de segurança intrínseca e do equipamento associado - Especificação. (Baseada na IEC 79-11).

NBR 8601, EB 1517, SET 84

Equipamentos elétricos imersos em óleo para atmosferas explosivas. (Baseada na IEC 79-6).

BR 9518, EB 1706, MAI 97

Especificação: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Requisitos gerais. (Baseada na IEC 79-0/83).

NBR 9883, EB 1744, FEV 95

Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Segurança aumentada - Tipo de proteção "e". (Baseada na IEC 79-7).

NBR 9884, EB 1743, JUN 87

Maquinas elétricas girantes - Graus de proteção proporcionada pelos invólucros. (Baseada na IEC 34-5).

NBR 10861, EB 1980, AGO 89

Prensa cabos. (Baseada na BS 6121).

NBR NM IEC 60 050/426, SET 92

Terminologia: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas.

Substitui a norma NBR 8370.

2.3. Normas Petrobras

Petrobras N-2154 - Classificação de Áreas para Instalações Elétricas em Regiões de Perfuração e Produção;

Petrobras N-2155 – Lista de Dados para Classificação de Áreas;

Petrobras N-2166 - Classificação de Áreas para Instalações Elétricas em Refinarias de Petróleo;

Petrobras N-2167 - Classificação de Áreas para Instalações Elétricas em Unidades de Transporte de Petróleo, Gás e Derivados.

Petrobras N-2510 - Inspeção e manutenção de instalação elétrica em atmosfera explosiva;

2.4. Laboratórios certificadores

Os órgãos certificadores credenciados pelo INMETRO são:

1. ECPS – Escritório de Certificação de Produtos e Serviços, do CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica)
2. CertUSP do IEE (Instituto de Eletrotécnica e Energia) da Universidade de São Paulo
3. União Certificadora

CEPEL

O CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) é uma empresa do Sistema Eletrobrás, criada em 1974, com a missão de contribuir para o aprimoramento permanente e adequação do serviço de energia elétrica, efetivando novos padrões de qualidade e economia, através de ações de pesquisa, desenvolvimento, promoção e transferência de tecnologia, constituindo-se em centro de excelência do setor elétrico brasileiro.

Há duas unidades:

1. Adrianópolis (Nova Iguaçu, RJ)
2. Ilha do Fundão (Rio de Janeiro, RJ)

Dentre os produtos e serviços do CEPEL, oferece testes de ensaio e certificação, através do laboratório ECPS (Escritório de Certificação de Produtos e Serviços). O ECPS certifica equipamentos elétricos de baixa, média e alta tensão, interruptores, plugues, tomadas, fusíveis, disjuntores, luminárias, fios, cabos e equipamentos elétricos para atmosferas potencialmente explosivas.

IEE

O laboratório do Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP atua na área de prestação de serviços para indústrias eletrotécnicas, hospitais, concessionárias de energia elétrica e usuários. Ela realiza ensaios e testes de equipamentos elétricos para atmosferas potencialmente explosivas, para verificar o seu grau de segurança.

União Certificadora

A União Certificadora é uma sociedade civil privada, sem fins lucrativos, fundada em 1991, atuando como Organismo de Certificação de terceira parte. Foi criada pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) e representa o Underwriters Laboratories Inc., no Brasil.

Ela atua na área de qualidade e certifica equipamentos elétricos para uso pretendido em atmosferas potencialmente explosivas.

3. Normas internacionais

3.1. ISO

A ISO *(International Organization for Standardization)* é uma federação mundial, integrada por Organismos Nacionais de Normalização, contando com um representante por país. É uma organização não governamental, estabelecida em 1947, da qual a ABNT é membro fundador, contando atualmente com 132 membros, sendo 90 participantes, 33 correspondentes e 9 subscritos.

3.2. IEC

A IEC *(International Electrotechnical Commission)* é uma federação mundial, integrada por Organismos Nacionais de Normalização, contando com um representante por país, atuando especificamente na normalização internacional no campo da eletricidade. É uma organização não governamental, sem fins lucrativos, estabelecida em 1906, tendo sido o Brasil um dos primeiros membros não europeus a associar-se.

O IEC é afiliado a ISO (*International Organization for Standardization*), como sua divisão eletrotécnica, mas possui autonomia técnica e financeira. As normas técnicas da ISO são editadas e emitidas pelo IEC, que também são a base das normas do CENELEC.

3.3. Visão geral das normas

Uma visão geral das normas para a determinação dos parâmetros, classificação da zona, projeto, instalação e operação do sistema, equipamentos e componentes na área com gases, vapores e pós potencialmente explosivos, é mostrada abaixo.

Titulo/Conteúdo	Norma IEC	CENELEC	Norma DIN
Básico			
Atmosferas explosivas – prevenção e proteção contra explosão Parte 1: Conceitos básicos e metodologia Atmosferas potencialmente explosivas – prevenção e proteção contra explosão Parte 1: Termos e definições para equipamento e sistemas de proteção pretendidos para uso em atmosferas potencialmente explosivas		1 127-1 1997-08-00 12 237-1 1998-05-00	1 127-1 1997-00-00
Características de gases e vapores combustíveis			
Determinação da máxima pressão de explosão e da máxima taxa de aumento da pressão de gases e vapores – Parte 1: determinação da máxima pressão de explosão		12 673-1 1999-08-00	12 673-1 1999-11-00
Equipamentos elétricos para atmosfera de gás explosivo Parte 1: construção e teste de invólucro à prova de chama de equipamento elétrico. Apêndice D: método de teste por estabelecimento do máximo espaçamento experimental seguro (MESG)	60 079-1A 1975-00-00		
Parte 12: classificação de misturas de gases ou vapores com ar, de acordo com seus MESGs e mínimas correntes de ignição (MCI)	60 079-12 1978-00-00		
Parte 20: Dados para gases e vapores inflamáveis, relativos ao uso de equipamentos elétricos	60 079-20		
Parte 4: método de teste para temperatura de ignição	60 079-4 1975-00-00		51 794 1961-07-00
Características de pós combustíveis			
Equipamentos elétricos para uso na presença de pó combustível	61 241-2-1	50 281-2-1	50 281-2-1 1999-07-00
Parte 2: métodos de teste – método para determinar a mínima temperatura de ignição de gás			
Método para determinar a resistividade elétrica do pó em camadas	61 241-2-2 1993-08-00	61 241-2-2 1995-00-00	61 241-2-2 1996-04-00
Método para determinar a mínima energia de ignição de misturas de pó e ar	61 241-2-3 1994-09-00	50 281-2-3	
Método para determinar o limite inferior de explosividade das misturas pó e ar	61 241-2-4 1995-00-00	50 281-2-3	
Características de pós combustíveis			
Equipamentos elétricos para uso na presença de pós combustíveis Parte 2: métodos de teste – Seção 1: Métodos para determinação da mínima temperatura de ignição do pó	61 241-2-1	50 281-2-1	50 281-2-1 1999-11-00
Seção 2: método para determinar a resistividade elétrica do pó em camadas	61 241-2-2 1993-08-00	61 241-2-2 1995-00-00	61 241-2-1 1996-04-00
Seção 3: método para determinar a mínima energia de ignição de misturas de pó e ar	61 241-2-3 1994-09-00	50 281-2-3	

Titulo/Conteúdo	Norma IEC	CENELEC	Norma DIN
Parte 4: Métodos de teste – Seção 4: método para determinar o limite inferior de explosividade de misturas de pó e ar	61 241-2-4	50 281-2-4	
Classificação de áreas perigosas com gases e vapores combustíveis			
Equipamentos elétricos para atmosfera com gás explosivo Parte 10: Classificação de áreas perigosas	60 079-10 1995-12-00	60 079-10 1996-00-00	60 079-10 1996-00-00
Classificação de áreas perigosas com pós combustíveis			
Equipamentos elétricos para uso na presença de pós combustível Parte 3: Classificação de áreas onde pós combustíveis estão ou podem estar presentes	61 241-3 1997-05-00		

Tipo de proteção para equipamento elétrico para atmosfera de gás explosivo			
Gases e vapores combustíveis			
Equipamento elétrico para atmosfera com gás explosivo Parte 0: Exigências gerais	60 079-10 1998-04-00	50 014 1997-00-00	50 014 2000-02-00
Parte 1: construção e teste de verificação de invólucros de equipamento elétrico à prova de chama	60 079-1 1998-08-00	50 018 1999-00-00	50 018 1999-12-00
Parte 2: equipamento elétrico tipo de proteção Ex-p	60 079-2 1993-00-00	50 016 1998-00-00	50 016 1998-09-00
Parte 5: Enchimento de areia, Ex-q	60 079-5 1997-04-00	50 017 1998-00-00	50 017 2000-00-00
Parte 6: Imersão em óleo, Ex-o	60 079-6 1995-05-00	50 015 1998-00-00	50 015 2000-02-00
Parte 7: Segurança aumentada, Ex-e	60 079-7-D 1999-00-00	50 019 1999-00-00	50 019 1999-11-00
Parte 11: Segurança intrínseca, Ex-i	60 079-11 1999-02-00	50 020 1994-00-00	50 020 1996-04-00
Sistemas com segurança intrínseca, Ex-i		50 039 1980-00-00	50 039 1982-04-00
Parte 18: Encapsulamento, Ex-m	60 079-18 1992-10-00	50 028 1987-00-00	VDE 0170/ 0171-9, 1988-07
Parte 26: Exigências especiais para construção, teste e marcação de equipamentos elétricos para Zona 0	60 079-26 1999-04-00	50 284 2000-00-00	50 284
Parte 15: Equipamento elétrico com proteção Ex-n	60 079-15 1987-04-00	50 021 1998-00-00	50 021 2000-02-00

Pós combustíveis			
Equipamento elétrico para uso na presença de pó combustível Parte 1-1: Equipamento elétrico protegido por invólucros e limitação de temperatura da superfície – Especificação para equipamentos	61 241-1-1 1999-05-00	50 281-1-1 1998-09-00	50 281-1-1 1999-10-00
Parte 4: Tipo de proteção pD	61 241-1-4	50 281-4	50 281-4
Parte 5: Tipo de proteção iD	61 241-1-5	50 281-5	50 281-5
Parte 6: Tipo de proteção mD	61 241-1-6	50 281-6	50 281-6

	IEC	CENELEC	Norma DIN
Tipo de proteção contra explosão	**Equipamento não elétrico**		
Gases, vapores e pós combustíveis			
Equipamento não elétrico para atmosferas potencialmente explosivas			
Parte 1: Metodologia básica e exigências		prEN 13 463-1 1999-02-00	DIN EN 13 463-1 1999-00-00
Parte 2: Proteção por invólucro com vazão restrita fr		prEN 13 463-2	DIN EN 13 463-2
Parte 3: Proteção por invólucro à prova de chama d		prEN 13 463-3	DIN EN 13 463-3
Parte 4: Proteção por segurança inerente g		prEN 13 463-4	DIN EN 13 463-4
Parte 5: Proteção por segurança de construção		prEN 13 463-5	DIN EN 13 463-5
Parte 6: Proteção por controle das fontes de ignição b		prEN 13 463-6	DIN EN 13 463-6
Parte 7: Proteção por pressurização p		prEN 13 463-7	DIN EN 13 463-7
Parte 2: Proteção por imersão em líquido, k		prEN 13 463-nn	DIN EN 13 463-nn

Proteção contra explosão em plantas: Instalação, manutenção e reparo			
Equipamento elétrico para atmosferas com gases explosivos			
Parte 13: Construção e uso de salas ou prédios protegidos por pressurização	60 079-13 1982-00-00		
Parte 16: Ventilação artificial para a proteção de causas com instrumentos de análise	60 079-16 1990-04-00		
Parte 14: Instalações elétricas em áreas perigosas (diferentes de minas)	60 079-14 1996-12-00	60 079-14 1997-00-00	60 079-14 1998-00-00
Parte 19: Reparo e revisão de equipamentos usados em atmosferas explosivas (diferentes de minas ou explosivos)	60 079-19 1993-09-00	60 079-19	60 079-19
Parte 17: Inspeção e manutenção de instalações elétricas em áreas perigosas (não minas)	60 079-17 1996-12-00	60 079-17 1997-00-00	60 079-17 1999-00-00
Equipamento elétrico para uso na presença de pós combustíveis			
Parte 1: Equipamentos elétricos protegidos por invólucros – seleção, instalação e manutenção	61 241-1-2 1999-06-00	50 281-1-2 1998-09-00	50 281-1-2 1999-11-00

A norma básica referente a equipamentos elétricos utilizados em locais com atmosferas explosivas publicada pelo IEC é a IEC-79 – Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas (*Electrical apparatus for explosive gas atmospheres*), que possui as seguintes partes:.

- 79-0 (1971) Introdução genérica.
- 79-1 (1971) Construção e teste de invólucros de equipamentos elétricos à prova de chama, Ex-d.
- 79-1A (1975) Apêndice D: Método de teste para o estabelecimento do máximo intervalo seguro experimental.
- 79-2 (1975) Invólucros pressurizados, Ex-p
- 79-3 (1972) Equipamentos de teste de faísca para circuitos intrinsecamente seguros.
- 79-4 (1975) Método de teste para temperatura de ignição.
- 79-5 (1967) Equipamentos com enchimento de areia, Ex-q.
- 79-6 (1968) Equipamentos com imerso em óleo, Ex-o.
- 79-7 (1969) Construção e teste de equipamentos elétricos com tipo de proteção segurança aumentada, Ex-e.
- 79-8 (1969) Classificação das máximas temperaturas da superfície.
- 79-9 (1970) Marcação.
- 79-10 (1972) Classificação de áreas perigosas.
- 79-11 (1976) Construção e teste de equipamentos intrinsecamente seguros e associados.
- 79-12 (1978) Classificação de misturas de gases ou vapores conforme os máximos intervalos experimentais seguros e mínimas correntes de ignição.
- 79-13 (1982) Construção e uso de salas ou edifícios protegidos por Pressurização.
- 79-14 – Instalações elétricas em atmosferas de gases explosivos – outros que minas.
- 79-15 – Equipamentos elétricos para atmosferas de gases explosivos – Tipo de proteção não acendível, Ex-n.
- 79-17 – Equipamentos elétricos para atmosferas de gases explosivos – Recomendações para inspeção e manutenção de instalações elétricas em áreas perigosas – outras que minas.
- 79-18 – Equipamentos elétricos para atmosferas de gases explosivos – Tipo de proteção por encapsulamento, Ex-m.

3.4. Diretivas

Quando se estabelece a aplicação de diretivas a equipamentos protegidos contra explosão é necessário diferenciar se estas diretivas ao aplicadas de **modo geral** ou **somente para certos produtos**.

As seguintes diretivas são importantes para equipamentos elétricos:

Diretiva 73/23/EEC – Equipamentos elétricos para uso dentro dos limites definidos de tensão.

Esta diretiva não se aplica a equipamentos elétricos para uso em atmosferas explosivas.

Diretivas 76/117/EEC; 79/196/EEC; 82/130/EEC

Estas diretivas definidas Ex como marca de distinção para a colocação em circulação de equipamentos protegidos contra explosão dentro de toda comunidade européia.

Diretiva 89/336/EEC – Compatibilidade eletromagnética.

Esta diretiva é para ser aplicada a qualquer produto que possa causar interferências eletromagnéticas ou a operação pode ser atrapalhada por estas interferências.

Diretiva 91/263/EEC – Equipamento de telecomunicações.

Esta diretiva se aplica a equipamentos elétricos para uso em atmosfera explosiva somente num sentido muito restrito.

4. Diretiva 94/9/EC (ATEX 95[1]),

A nova Diretiva 94/9/EC cobre todos os equipamentos e sistemas de proteção, tanto elétrico como não elétrico. Alem de ter produtos certificados por um corpo notificado (corpo de atribuição da conformidade), os fabricantes devem também ter seus sistemas de garantia da qualidade revistos e aprovados por um corpo notificado. E como esta diretiva é emitida na base do novo enfoque da União Européia, ela simultaneamente introduz a Declaração de Conformidade EC do fabricante em conexão com a colocação da marcação CE no equipamento.

Alem de incluir ambos os equipamentos elétricos e não elétricos, a nova diretiva é também estendida para cobrir locais de risco por causa de atmosferas de gás e pó que são potencialmente explosivos. As áreas de aplicação são bem definidas na diretiva. Os grupos e categorias do novo equipamento são definidos e as exigências fundamentais de segurança são formuladas.

4.1. Escopo da aplicação

A diretiva 94/9/EC, também chamada de ATEX 95, se aplica a equipamento e sistemas de proteção pretendidos para uso em áreas perigosas. Equipamentos de segurança, dispositivos de controle e dispositivos de regulação pretendidos para uso fora das áreas perigosas são também cobertos por esta diretiva, desde que são requeridos ou contribuem para o funcionamento seguro do equipamento e dos sistemas de proteção com relação aos riscos de explosão. A diretiva define alguns conceitos de proteção contra explosão relativos ao equipamento e sistemas de proteção pretendidos para uso em áreas perigosas, diferentemente do Dicionário Eletrotécnico Internacional. O equipamento inclui máquinas, equipamentos, equipamentos fixos ou móveis, componentes de controle e instrumentação afim, sistemas de detecção ou prevenção que, separadamente ou juntos, são pretendidos para a geração, transferência, armazenagem, medição, controle e conversão de energia ou para o processamento do material e que são capazes de causar uma explosão através de suas próprias fontes de ignição potenciais.

Os sistemas de proteção incluem todos os equipamentos pretendidos para parar explosões incipientes imediatamente ou para limitar a faixa efetiva de chamas de explosão e pressões de explosão. Os sistemas de proteção podem ser integrados em equipamento ou colocados no mercado separadamente para uso como sistemas autônomos. Componentes dos equipamentos definidos acima não são considerados como sistemas de proteção.

Componentes incluem qualquer item essencial ao funcionamento seguro do equipamento e sistemas de proteção mas sem função autônoma.

Uma mistura explosiva é uma mistura com ar sob condições atmosféricas normais (temperatura de -20 a +60 ^{o}C, pressão de 80 a 110 kPa) ou substâncias combustíveis na forma de gases, vapores, névoas ou pós em que, após ter ocorrido a ignição, a combustão se espalha em toda mistura não queimada.

Em uma área perigosa, a atmosfera pode se tornar explosiva devida ao local e às condições operacionais.

A Diretiva 94/9/EC se liga diretamente com outras normas anteriores, tais como Segurança de Maquinas, Operação de Vasos de Pressão, Diretiva de Baixa Tensão, Diretiva da Interferência Eletromagnética.

Estão excluídas do escopo desta Diretiva:

1. Equipamentos de medição pretendidos para uso em um ambiente médico
2. Equipamento e sistemas de proteção onde o perigo de explosão resulta exclusivamente da presença de substâncias explosivas ou produtos químicos instáveis.
3. Equipamento pretendido para uso em ambientes domésticos e não comerciais, onde a atmosfera explosiva ocorre somente raramente e somente como um resultado de vazamento acidental de uma substancia combustível
4. Equipamento de proteção pessoal
5. Vasos oceânicos e unidades móveis de plataforma marítima junto com equipamento a bordo tais como vasos
6. Veículos e seus trailers pretendidos somente transporte de passageiros por ar ou por rodovia, trem ou água, bem como por meios de transporte em geral, cujos meios são projetados para transportar bens por ar, por rodovia pública ou por estrada de ferro ou por meio fluvial. Veículos pretendidos para uso em uma atmosfera explosiva não são excluídos.
7. Produtos militares.

[1] ATEX significa **AT**mosferas **EX**plosivas.

4.2. Exigências essenciais

Um produto é considerado seguro se, quando usado para o propósito para o qual ele foi pretendido, as exigências essenciais de segurança e saúde estabelecidas na Diretiva relativas ao projeto e construção do equipamento e sistemas de proteção sejam obedecidas.

Para o equipamento associado, as exigências essenciais de segurança se aplicam somente quando elas são requeridas para operação segura e confiável para garantir a efetividade da proteção contra explosão. Para facilitar a demonstração de que uma parte do equipamento ou do sistema de proteção esteja de conformidade com estas exigências, normas uniformes foram criadas no âmbito europeu. Isto se aplica particularmente à área não elétrica da proteção contra explosão. Onde tais normas ainda não existem, elas devem cobrir a concepção, construção e teste do equipamento e dispositivos. A observância destas normas garante que um produto atende as exigências essências para a certificação de conformidade.

4.3. Conteúdo da marcação CE

As regras para a marcação de sistemas, equipamentos e componentes são uniformemente definidos nas normas relativas às exigências técnicas gerais.

Como a CE também formula exigências uniformes e introduz uma classificação uniforme para equipamentos, sistemas e componentes não elétricos, a marcação também está unificada.

A marcação está definida na diretiva 94/9/EC. Esta diretiva inclui equipamento elétrico e por esta razão, as marcações são prefixadas por símbolos adicionais.

A marcação de todos os equipamentos elétricos e sistemas de proteção para áreas perigosas deve indicar a área de seu uso pretendido.

A marcação deve indicar o seguinte:

- O fabricante que colocou o item do equipamento no mercado
- A designação que o permite ser identificado
- A zona de aplicação:

Mina	I
Outras áreas	II
Gases e vapores	G (gás)
Pós	D (dust)
Minas	M (mine)

- As categorias que indicam se o equipamento é apenas conveniente para zonas específicas
- Os tipos de proteção contra ignição que o equipamento satisfaz
- O grupo de explosão e, se requerido, o subgrupo de perigo de explosão para o qual ele é conveniente
- Classe de temperatura para a qual o equipamento é conveniente
- O centro de teste onde o certificado foi emitido, a norma e revisão aplicáveis ao equipamento, incluindo o número de registro do certificado no centro de teste e, se necessário, que condições especiais devem ser observadas.

Tab. 1.1. Estrutura da diretiva EC 94/9

Estrutura da Diretiva 94/9

Seção das Provisões

Cap.	Artigo	Titulo
I	1-7	Escopo, lançamento no mercado e liberdade de movimento
II	8-9	Procedimentos de atribuição de conformidade
III	10-11	Marcação de conformidade CE
IV	12-16	Provisões finais

Anexos

I	Critérios determinando a classificação dos grupos de equipamentos em categorias
II	Exigências essências de saúde e segurança relativas ao projeto e construção do equipamento e sistemas de proteção pretendidos para uso em áreas perigosas
III	Módulo: Exame tipo EC
IV	Módulo: Garantia da qualidade da produção
V	Módulo: Verificação do produto
VI	Módulo: Conformidade com o tipo
VII	Módulo: Garantia da qualidade do produto
VIII	Módulo: controle interno da produção
IX	Módulo: Verificação da unidade
X	Marcação CE e conteúdo da Declaração de Conformidade EC
XI	Critérios mínimos a serem considerados pelos Estados Membros para os corpos de notificação.

Categoria	Equipamento Grupo II
1	O equipamento é pretendido para uso em áreas em que uma atmosfera explosiva está presente **continuamente** ou **por longos períodos** ou **freqüentemente**. Mesmo se o equipamento falhar, isto ocorre raramente, o equipamento deve garantir o grau de segurança requerido e ter característica com proteção contra explosão que Se uma medição de proteção de construção falha, no mínimo, uma outra medida de proteção de construção independente irá garantir o grau de segurança requerido ou Se duas falhas independentes ocorrerem em combinação, o grau de segurança requerida é ainda garantido.
2	O equipamento é pretendido para uso em áreas em que uma atmosfera explosiva ocorre **ocasionalmente**. Mesmo no caso de falhas freqüentes do equipamento ou condições de falha que são normalmente esperadas, as medidas de proteção construtivas contra explosão garantem o grau de segurança requerido.
3	O equipamento é pretendido para uso em áreas em que **nenhuma** ocorrência de uma atmosfera explosiva devida a gases, vapores, névoas ou deposição de pós é esperada. Se, porém, a atmosfera explosiva ocorrer, então com toda probabilidade será **só raramente** ou por um **período curto**. Durante a operação normal, o equipamento garante o grau requerido de segurança.

Categoria	Equipamento Grupo I
M1	O equipamento deve continuar operando mesmo no caso de falhas in freqüentes coincidirem com uma atmosfera explosiva e deve ter característica de proteção contra explosão que Se uma medição de proteção de construção falha, no mínimo, uma outra medida de proteção de construção independente irá garantir a segurança requerida ou Se duas falhas independentes ocorrerem em combinação, a segurança requerida é ainda garantida
M2	Se ocorrer uma atmosfera explosiva, deve ser possível desligar o equipamento. As medidas de proteção construtivas contra explosão garantem o grau requerido de segurança durante a operação normal, mesmo sob condições de operação severas e, em particular, em casos de manuseio não suave e mudança das condições ambientais de influência.

O dispositivo grupo II é subdividido nas categorias 1, 2 e 3

De acordo com a diretiva 94/9/EC, a marcação do equipamento deve ser assim:

CE 0032 II 2 G

onde

CE	marca de conformidade
0032	corpo notificado que certificou o sistema de qualidade conforme 94/9/EC

Os seguintes grupos de equipamento são distinguidos:

Equipamento grupo II	outras áreas
Categoria/nível de proteção 2	para zona 1
Gases, vapores e névoas	sufixo G

Área	Classificação do perigo	Marcação requerida no equipamento	
		Grupo	Categoria
Mina	Operação com perigo de explosão	I	M1
Mina	Desligado com perigo de explosão	I	M2 e M1
Outra	Zona 0	II	1 G
Outra	Zona 1	II	2 G + 1 G
Outra	Zona 2	II	3G + 2G + 1G
Outra	Zona 20	II	1 D
Outra	Zona 21	II	2 D + 1 D
Outra	Zona 22	II	3D + 2D + 1D

Exemplo de uma marcação de equipamento elétrico

BARTEC tipo 07-3353.... EEx d IIC T6 PTB 97 ATEX 1065 X

BARTEC tipo 07 3353	Fabricante e modelo
EEx	fabricado de acordo com a norma EN 50 014 ff
D	prova de chama
II	não subterrâneo
C	subgrupo C
T6	classe de temperatura
PTB	símbolo do corpo notificado
97	certificado 1997
ATEX	geração ATEX
1065	número de serie do corpo notificado
X	se disponível, condições especiais

Exemplos de certificado de conformidade

PTB 97 ATEX 1065 X
X – condições especiais

PTB 97 ATEX 1065 U
U – certificado do componente, sem classe de temperatura

4.4. Conformidade CE

A seguinte rota é prescrita para equipamento elétrico de conformidade com CE, de acordo com a diretiva 94/9/EC e dependendo da categoria da conformidade, ela define que caminho o fabricante deve seguir na direção da declaração de conformidade CE

Uso pretendido do equipamento	Zona 0	Zona 1	Zona 2
Categoria de conformidade a ser satisfeita	1	2	3
Exigências do fabricante	Preenchimento das exigências da diretiva 94/9/EC, e.g. EN 50 284 e BM II 1G	Preenchimento das exigências da diretiva 94/9/EC, e.g. EN 50 284 ff	Preenchimento das exigências da diretiva 94/9/EC Tipo de proteção EEx n IEC 60 079-15 e EN 50 021
Exigências do corpo notificado de teste	Teste de protótipo EC por corpo notificador IBExU, BVS ou BASEEFA	Teste de protótipo EC por corpo notificador PTB, TUV-A ou KEMA	Não requerido
Do fabricante	Controle de qualidade do produto EN 29 002 ou Teste do produto em produção	Conformidade com projeto ou Controle de qualidade do produto EN 29 003	Estabelecimento
Declaração de conformidade emitida por	Fabricante	Fabricante	Fabricante
Marcação CE emitida	Fabricante	Fabricante	Fabricante

4.5. Categorias dos equipamentos

Categoria 1

A categoria 1 compreende o equipamento que é permitido ser usado em Zonas 0 ou 20 (e é também usável em Zonas 1, 2 ou 21 e 22). Equipamento Categoria 1 usualmente tem dois tipos de proteção e permanece seguro mesmo se duas falhas independentes entre si ocorrerem. Por causa deste muito alto nível de proteção, o fabricante é requerido ter o tipo de exame feito por um corpo de atribuição de conformidade e para completar o módulo de garantia de qualidade da produção (pré-condição da ISO 9001). Em casos especiais, a garantia da qualidade do produto pode ser substituída pelo modulo de inspeção do produto feito na planta do fabricante pelo corpo de atribuição de conformidade.

Categoria 2

A categoria 2 compreende o equipamento que é permitido ser usado em Zonas 1 ou 21 (e é também usável em Zonas 2 ou 22). Equipamento Categoria 2 permanece seguro mesmo se ocorrerem distúrbios ou falhas no equipamento. Além do tipo de exame, o fabricante é requerido fazer um módulo de garantia de qualidade do produto (pré-condição mínima da ISO 9002) ou o modulo de inspeção do produto.

Fabricantes que produzem regularmente uma grande variedade de equipamento normalmente completam o modulo de garantia da qualidade do produto.

Categoria 3

Categoria 3 compreende o equipamento que é permitido ser usado em Zonas 2 ou 22 apenas. Equipamento Categoria 3 fornece o nível de requisito de segurança durante a operação normal.

Distúrbios e falhas de equipamento não são considerados na categoria 3. Neste caso, o fabricante tem a total responsabilidade de por o equipamento no mercado e colocá-lo em operação. É inteiramente responsabilidade do fabricante submeter aspectos parciais ou a parte toda do equipamento a um corpo de atribuição de conformidade.

Os fabricantes são bem conscientes em dar algum pensamento, além da letra da lei, para a exclusão de possíveis erros de interpretação (garantia do produto) e para garantir que o produto permaneça estado da arte por todo o tempo.

4.6. Produto no mercado

Equipamento elétrico para áreas perigosas é sujeito a avaliação de conformidade específica em um módulo (ver também Ta.b 1, Estrutura da Diretiva 94/9/EC) em ambos os estágios de projeto e fabricação.

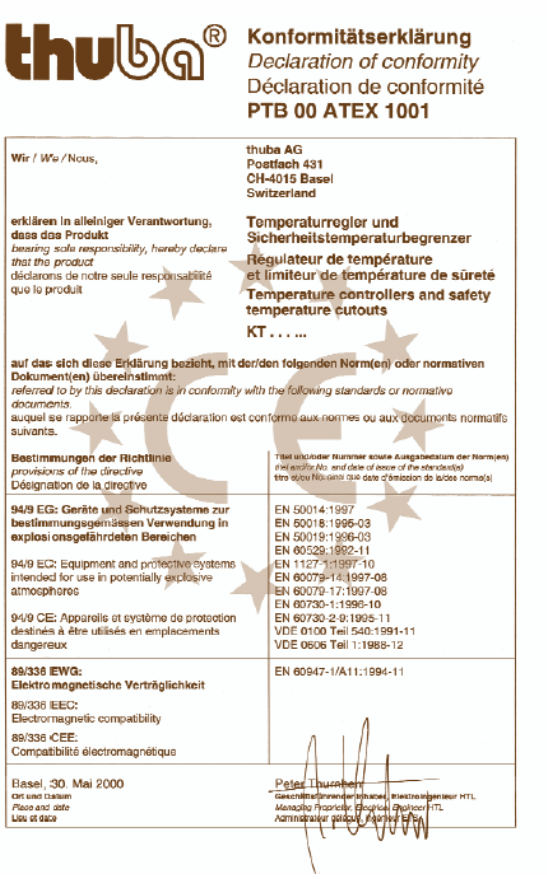
Se o representante autorizado do fabricante assume a tarefa do fabricante, as mesmas regras se aplicam a ele. A Diretiva 94/9/EC cobre todos os aspectos da colocação no mercado e equipamento elétrico pretendido para uso em áreas perigosas.

4.7. Atribuição da Conformidade

O fabricante prepara a documentação técnica e a submete junto com a aplicação ao corpo notificado (corpo de atribuição da conformidade). Para algum equipamento, a documentação técnica pode ser muito volumosa e pode até incluir os resultados detalhados de testes feitos pelo fabricante.

O corpo notificado toma estes relatórios de testes em consideração para decidir se vai monitorar ou não a produção dos equipamentos. Sob a diretiva EC, o fabricante é também requerido incluir o manual de instrução necessário com a documentação técnica para possibilitar o corpo notificado rever os aspectos de segurança. Após todos os testes exigidos pelas normas existentes da CENELEC e da IEC para determinada parte do equipamento terem sido feitos, o procedimento de atribuição de conformidade termina com a emissão do certificado de exame tipo EC pelo corpo notificado. O certificado de exame tipo EC (modulo B) isolado não é suficiente para colocar a parte do equipamento no mercado.

O corpo notificado pode se referir à provisão estabelecido no ponto 11 do certificado de exame. Ele diz: Este certifica de exame tipo EC se refere somente ao projeto, exame e testes do equipamento especificado ou sistema de proteção de acordo com a Diretiva 94/9/EC. Exigências adicionais da Diretiva se aplicam ao processo de fabricação e fornecimento deste equipamento ou sistema de proteção. Estes não são cobertos por este certificado.



thuba®

Konformitätserklärung
Declaration of conformity
Déclaration de conformité
PTB 00 ATEX 1001

Wir / We / Nous,

thuba AG
Postfach 431
CH-4015 Basel
Switzerland

erklären in alleiniger Verantwortung, dass das Produkt
bearing sole responsibility, hereby declare that the product
déclarons de notre seule responsabilité que le produit

Temperaturregler und Sicherheitstemperaturbegrenzer
Régulateur de température et limiteur de température de sûreté
Temperature controllers and safety temperature cutouts
KT . . . ...

auf das sich diese Erklärung bezieht, mit der/den folgenden Norm(en) oder normativen Dokument(en) übereinstimmt:
referred to by this declaration is in conformity with the following standards or normative documents.
auquel se rapporte la présente déclaration est conforme aux normes ou aux documents normatifs suivants.

Bestimmungen der Richtlinie *provisions of the directive* Désignation de la directive	Titel und/oder Nummer sowie Ausgabedatum der Norm(en) *title and/or No. and date of issue of the standard(s)* titre et/ou No. ainsi que date d'émission de la/des norme(s)
94/9 EG: Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemässen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen 94/9 EC: Equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres 94/9 CE: Appareils et système de protection destinés à être utilisés en emplacements dangereux	EN 50014:1997 EN 50018:1995-03 EN 50019:1996-03 EN 60529:1992-11 EN 1127-1:1997-10 EN 60079-14:1997-08 EN 60079-17:1997-08 EN 60730-1:1996-10 EN 60730-2-9:1995-11 VDE 0100 Teil 540:1991-11 VDE 0606 Teil 1:1988-12
89/336 EWG: Elektromagnetische Verträglichkeit 89/336 IEEC: Electromagnetic compatibility 89/336 CEE: Compatibilité électromagnétique	EN 60947-1/A11:1994-11

Basel, 30. Mai 2000
Ort und Datum
Place and date
Lieu et date

Peter Thurnherr
Geschäftsführender Inhaber, Elektroingenieur HTL
Managing Proprietor, Electrical Engineer HTL
Administrateur gérant, Ingénieur ETS

4.8. Manuais de instrução

Todo equipamento coberto pela Diretiva EC deve ser fornecido junto com um manual de instrução (e possivelmente com documentação suplementar). Para categorias 1 e 2 grupos de equipamento grupo II o manual de instrução deve ser revisado pelo corpo de atribuição de conformidade.

Para estar de conformidade com a Diretiva, o manual de instrução deve cobrir essencialmente os seguintes pontos:

1. Descrição técnica
2. Colocação em serviço
3. Manutenção
4. Inspeção
5. Teste funcional
6. Correção de falhas
7. Segurança prática

Fig. 1.3. Manual de Instrução

4.9. Fabricação

A aplicação dos sistemas de garantia de qualidade dentro do escopo de Diretiva EC é descrita nos módulos D (Anexo IV: Garantia da Qualidade da Produção) e E (Anexo: Garantia da Qualidade do Produto). Em casos onde são aplicadas as normas EN ISO 9001, 9002 e 9003, é assumido que a conformidade com os respectivos módulos de garantia da qualidade seja garantida pelo atendimento das provisões da norma relevante. Para satisfazer a Diretiva, o fabricante deve garantir que o sistema de garantia da qualidade satisfaça as exigências essências sem exceção. Entre outras coisas, isto é conseguido com os registros da garantia da qualidade, relatórios de inspeção, dados de calibração e relatórios de qualificação do pessoal envolvido.

O fabricante é responsável em ver que o sistema de garantia da qualidade está implementado de modo que as exigências continuam sendo atendidas. É de responsabilidade do corpo notificado (corpo de atribuição de conformidade) garantir isso por sua atribuição, certificação e auditorias periódicas.

O fabricante submete seu sistema de garantia da qualidade ao corpo notificado. O corpo notificado então preenche suas obrigações com a atribuição e auditorias subseqüentes, que são feitas a cada três anos. O estabelecimento positivo do sistema de

qualidade certificado e os resultados positivos de uma inspeção feita na planta do fabricante formam a base para atribuir a notificação de aprovação dos módulos de garantia da qualidade cobrindo Produção (Anexo IV, módulo D) e Produtos (Anexo V, módulo E).

Experiência com aplicação dos módulos de qualidade tem mostrado que a ênfase é colocada no módulo D no caso de fabricantes. Como o certificado de exame tipo EC e a notificação da aprovação do sistema de garantia da qualidade da produção, o fabricante possui as pré-condições essenciais para colocar o equipamento no mercado.

4.10. Marcação

A marcação do equipamento elétrico e sistemas de proteção pretendidos para uso em áreas perigosas ocorre simultaneamente com a colocação da marcação CE. A marcação de conformidade CE indica que o equipamento ou o sistema de proteção satisfaz as exigências impostas sobre o fabricante pela Comunidade. Ela confirma que o produto satisfaz todas as normas aplicáveis da Comunidade e que os respectivos procedimentos de estabelecimento da conformidade tem sido cumpridos.

Cada parte do equipamento e cada sistema de proteção devem ser marcados de modo legível e indelével com os seguintes detalhes mínimos:

1. Nome e endereço ou marca registrada do fabricante
2. Marcação CE (com o número de identificação do corpo de atribuição da conformidade que monitora o gerenciamento da qualidade), a marca específica seguida pelo símbolo da Categoria e para o Equipamento Grupo II a letra “G” (áreas em que as atmosferas explosivas causadas por gases, vapores ou nevoas estão presentes)
3. Número do certificado de exame tipo EC
4. Classificação Ex (estabelecendo os tipos de proteção [lista completa], classe de temperatura)
5. Designação adicional “X” ou “U”, onde aplicável
6. Especificação da potência
7. Tensão
8. Corrente elétrica (importante para a escolha adequada do fusível)
9. Nome ou tipo de peça do equipamento
10. Faixa de temperatura ambiente expandida ou estreitada
11. Ano de construção, onde não claramente evidente pelo número de série

Além disso, onde necessário, o equipamento deve ser marcado com toda informação essencial para seu uso seguro.

4.11. Declaração de conformidade

Além do certificado de exame tipo EC mencionado anteriormente, a notificação de aprovação do sistema de garantia da qualidade da produção, provisão de um manual de instrução e marcação adequada, uma declaração de conformidade é requerida antes do equipamento ser colocado no mercado. A Declaração de Conformidade EC deve conter informação suficiente para garantir que o elo entre todos os produtos cobertos pela declaração possa ser rastreado de volta até ele.

No mínimo, o seguinte deve estar declarado:

1. Nome e endereço do fabricante ou de seu representante autorizado, o que for responsável pela declaração
2. Informação acerca do produto (nome, tipo ou número do modelo e outros dados importantes)
3. Todas as provisões relevantes preenchidas pelo equipamento
4. Referencia precisa, completa e não ambígua às normas particulares ou outros documentos normativos (tais como normas técnicas nacionais e especificações)
5. Onde apropriado, qualquer outro dado essencial (tais como qualidade, categoria)
6. Data da emissão da Declaração de Conformidade
7. Assinatura e função ou designação equivalente da pessoa autorizada
8. Declaração que o fabricante ou (onde aplicável) sem representante autorizado é o único responsável pela emissão da Declaração de Conformidade.

Além disso, a Declaração de Conformidade EC deve conter detalhes do corpo notificado, desde que ele tenha participado no procedimento de atribuição da conformidade. Se várias diretivas se aplicam a determinada peça do equipamento ou sistema de proteção, o fabricante ou seu representante autorizado pode combinar todas as declarações necessárias em um único documento.

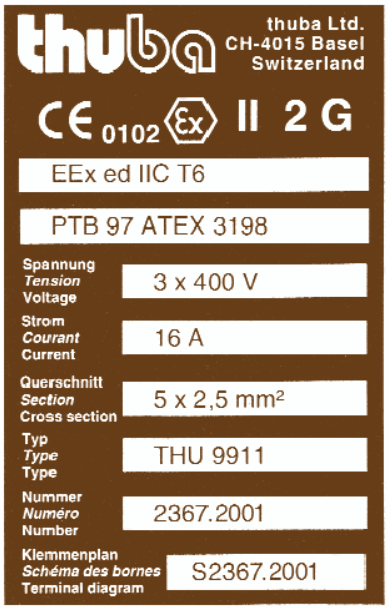


Fig. 1.4. Marcação de instrumento Ex

4.12. Controle interno da produção

Equipamento categoria 3 é conveniente para uso em Zona 2. Para este equipamento, as exigências especificadas pelo Anexo VIII da diretiva EC para o módulo “Controle Interno da Produção” devem ser satisfeitas. Como conseqüência, essencialmente a mesma documentação deve ser preparada e teste similar deve ser feito como requerido para equipamento de categorias 1 e 2. Para alguns tipos de equipamento, menos trabalho técnico pode ser requerido ou mais latitude pode ser permissível no testes do que para equipamento comparável pretendido para uso em Zonas 0 e 1. Mas a quantidade de documentação requerida é comparável e em alguns casos, pode mesmo exceder as exigidas para equipamento categoria 1 e 2, especialmente se o equipamento construído para Zona 2 é relativamente complexo.

A possibilidade de empregar equipamento padrão convenientemente projetado de boa qualidade comercial também ira necessitar de mais documentação para garantir que as exigências são satisfeitas.

Sob a prática anterior, o fabricante era capaz de declarar conformidade com as normas escrevendo baseado em sua experiência e resultados de teste não documentados. Sob a nova Diretiva 94/9/EC, porém, documentação detalhada incluindo referencias às normas é requerido. Esta documentação deve ser preparada antes de o equipamento ser colocado no mercado. A documentação de proposta deve incluir o projeto conceitual e os desenhos de fabricação, bem como as soluções adotadas para satisfazer os aspectos de segurança da Diretiva. Argumentação baseada nos próprios princípios de segurança do fabricante não é aceita. Com a introdução da norma EN 50 021 (IEC 60 079-15), o projeto e verificação foram simplificados. Em adição às provisões de proteção contra explosão, realmente as normas aplicadas à segurança eletrotécnica geral (tais como EN 60 529, grau de proteção de Proteção de Ingresso, IP) devem ser satisfeitas plenamente. Isto requer que o fabricante faça testes conforme normas exatamente do mesmo modo que o corpo de atribuição de conformidade fariam os seus testes.

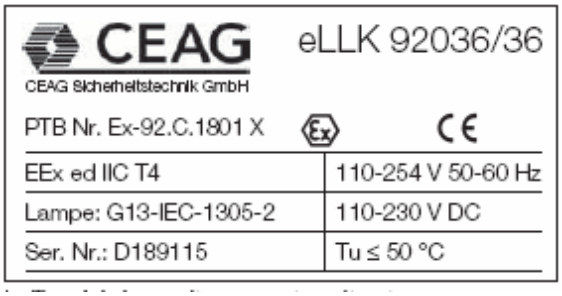
O grosso do trabalho irá envolver a definição, implementação e aplicação de todas as normas relevantes. Para evitar erros de interpretação e simplificar a verificação quando enfrentar as reclamações de defeitos, os fabricantes podem fazer testes (e possivelmente teste de partes para tirar conclusões por analogia) e obter certificação (parte da certificação) por laboratórios de teste reconhecidos.

4.13. Colocação em serviço

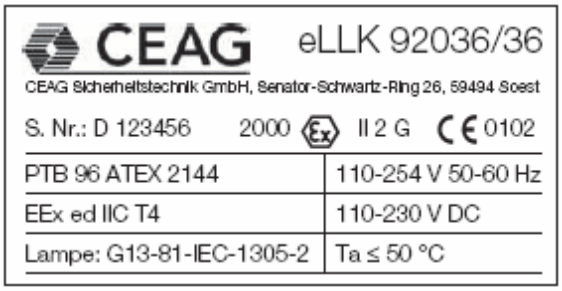
Os Estados Membros não podem proibir, restringir ou impedir a colocação no mercado ou a posta em serviço do equipamento, sistemas de proteção ou dispositivos que estejam de conformidade com as provisões da Diretiva 94/9/EC. O mesmo se aplica a componentes que são acompanhados por uma declaração de conformidade, desde que eles sejam pretendidos para serem incorporados no equipamento ou sistemas de proteção dentro do escopo da Diretiva.

Os Estados Membros assumem que todo equipamento, sistemas e dispositivos de proteção que estejam acompanhados por uma declaração de conformidade EC e tendo a marcação CE estejam de conformidade com esta Diretiva, incluindo o procedimento de estabelecimento da conformidade. Produtos que ainda satisfaçam as provisões da Diretiva podem ser mostrados em feiras comerciais, exibições e demonstrações somente se um sinal visível indica claramente que o produto em questão não é para venda até que ele fique de conformidade com a Diretiva.

Equipamento elétrico pretendido para uso em áreas perigosas deve também satisfazer a Diretiva 89/336/EEC (Compatibilidade Eletromagnética) e, no caso de equipamento de telecomunicações, também a Diretiva 91/263/EEC (Transmissão de Telecomunicações).



(a) Marcação conforme normas antigas



(b) Marcação conforme Diretiva 94/9/EC

Fig. 1.5, Marcação de instrumento Ex

5. Diretiva 1999/92/EC (ATEX 137)

O objetivo desta diretiva é estabelecer as exigências mínimas para melhorar a segurança e proteção da saúde de trabalhadores potencialmente em risco de atmosferas explosivas. Os Estados Membros da CE devem também adotar estas medidas, mas são também livres de adicionar medidas suplementares em sua legislação nacional.

5.1. Escopo da aplicação

A Diretiva se aplica a áreas em que os trabalhadores estão potencialmente em risco de atmosferas explosivas. Definem-se atmosferas explosivas como misturas de ar com gases, vapores e névoas ou pós flamáveis.

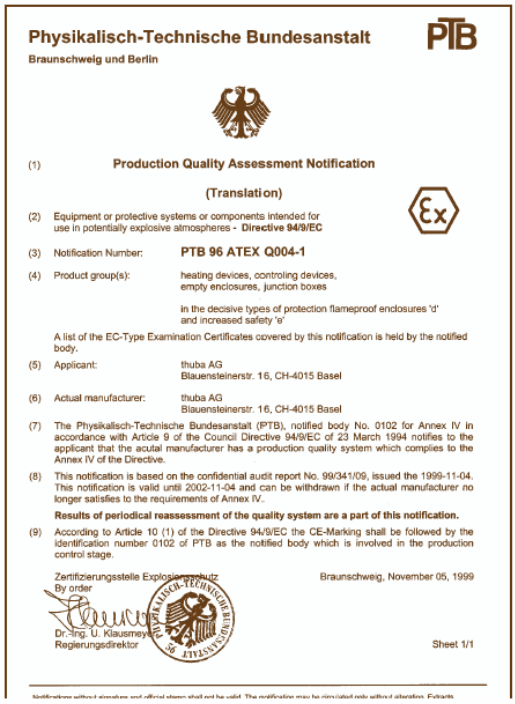
5.2. Diminuição e estabelecimento dos riscos de explosão

O empregador deve estabelecer as seguintes medidas, em sua ordem de importância:

1. Evitar a ocorrência de atmosferas explosivas, se possível pela substituição das substancias.
2. Evitar a ignição de qualquer atmosfera explosiva que ocorra.
3. Minimizar os efeitos danosos das explosões.

Em muitos países, este conceito já foi adotado na forma de normas nacionais e posto em prática há vários anos.

Após estabelecer todos os riscos possíveis de explosão, considerar as possíveis interações entre as instalações, substâncias usadas e o processo, o empregador deve tomar as medidas necessárias para proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores todo o tempo. Onde trabalhadores de varias companhias estão presentes em um local de trabalho, o empregador encarregado do local é responsável pela coordenação das medidas de saúde e segurança.


Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PTB
Braunschweig und Berlin

(1) Production Quality Assessment Notification

(Translation)

(2) Equipment or protective systems or components intended for use in potentially explosive atmospheres - **Directive 94/9/EC**

(3) Notification Number: **PTB 96 ATEX Q004-1**

(4) Product group(s): heating devices, controling devices, empty enclosures, junction boxes

in the decisive types of protection flameproof enclosures 'd' and increased safety 'e'

A list of the EC-Type Examination Certificates covered by this notification is held by the notified body.

(5) Applicant: thuba AG Blauensteinerstr. 16, CH-4015 Basel

(6) Actual manufacturer: thuba AG Blauensteinerstr. 16, CH-4015 Basel

(7) The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), notified body No. 0102 for Annex IV in accordance with Article 9 of the Council Directive 94/9/EC of 23 March 1994 notifies to the applicant that the acutal manufacturer has a production quality system which complies to the Annex IV of the Directive.

(8) This notification is based on the confidential audit report No. 99/341/09, issued the 1999-11-04. This notification is valid until 2002-11-04 and can be withdrawn if the actual manufacturer no longer satisfies to the requirements of Annex IV.

Results of periodical reassessment of the quality system are a part of this notification.

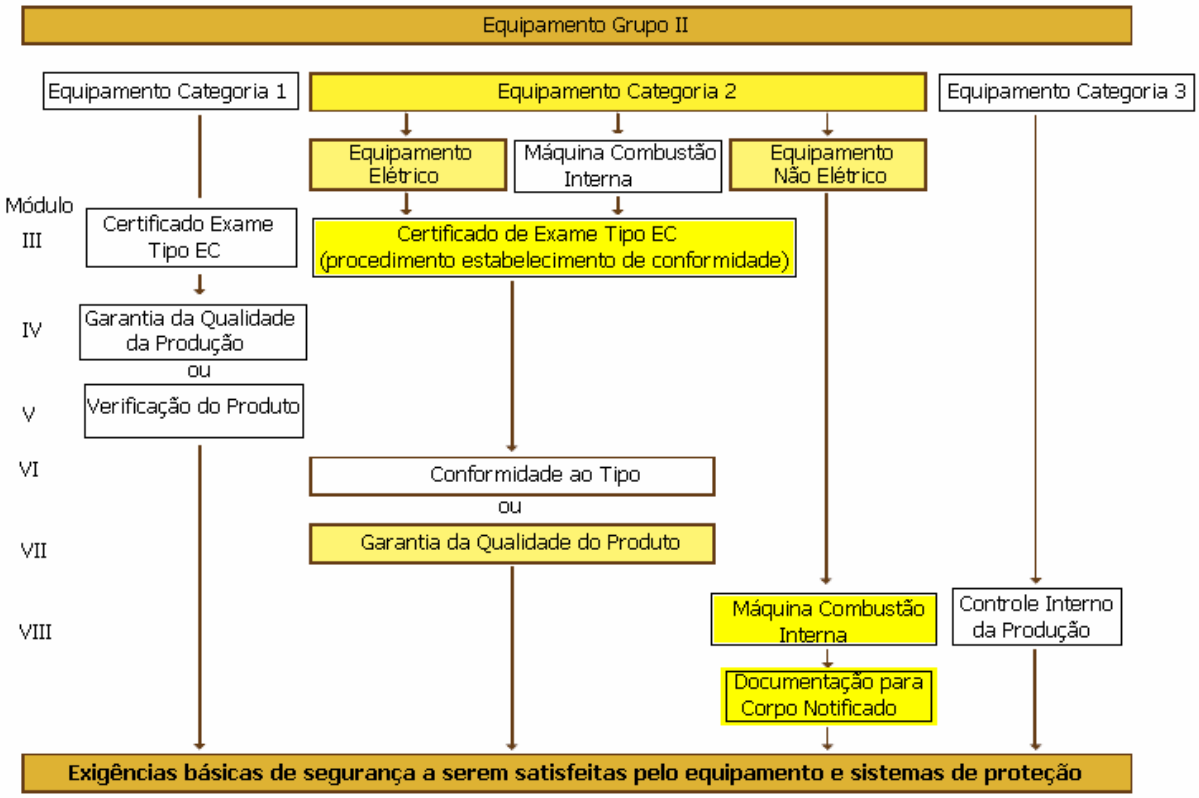
(9) According to Article 10 (1) of the Directive 94/9/EC the CE-Marking shall be followed by the identification number 0102 of PTB as the notified body which is involved in the production control stage.

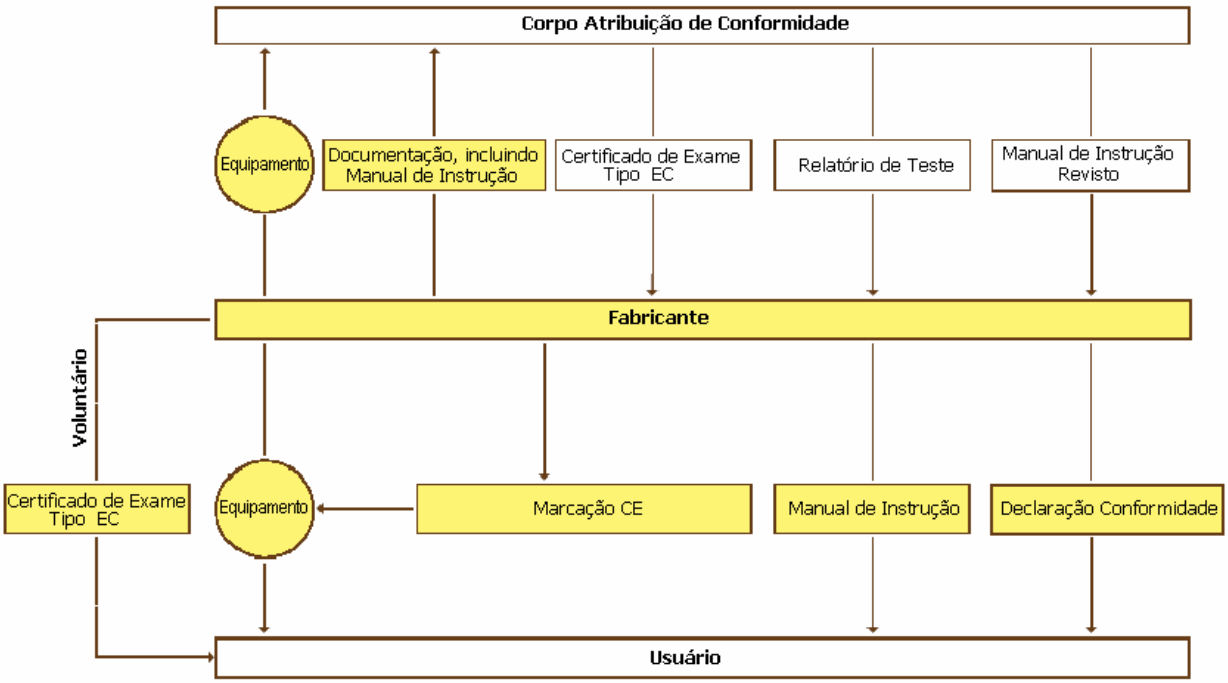
Zertifizierungsstelle Explosionsschutz
By order
Dr.-Ing. U. Klausmeyer
Regierungsdirektor

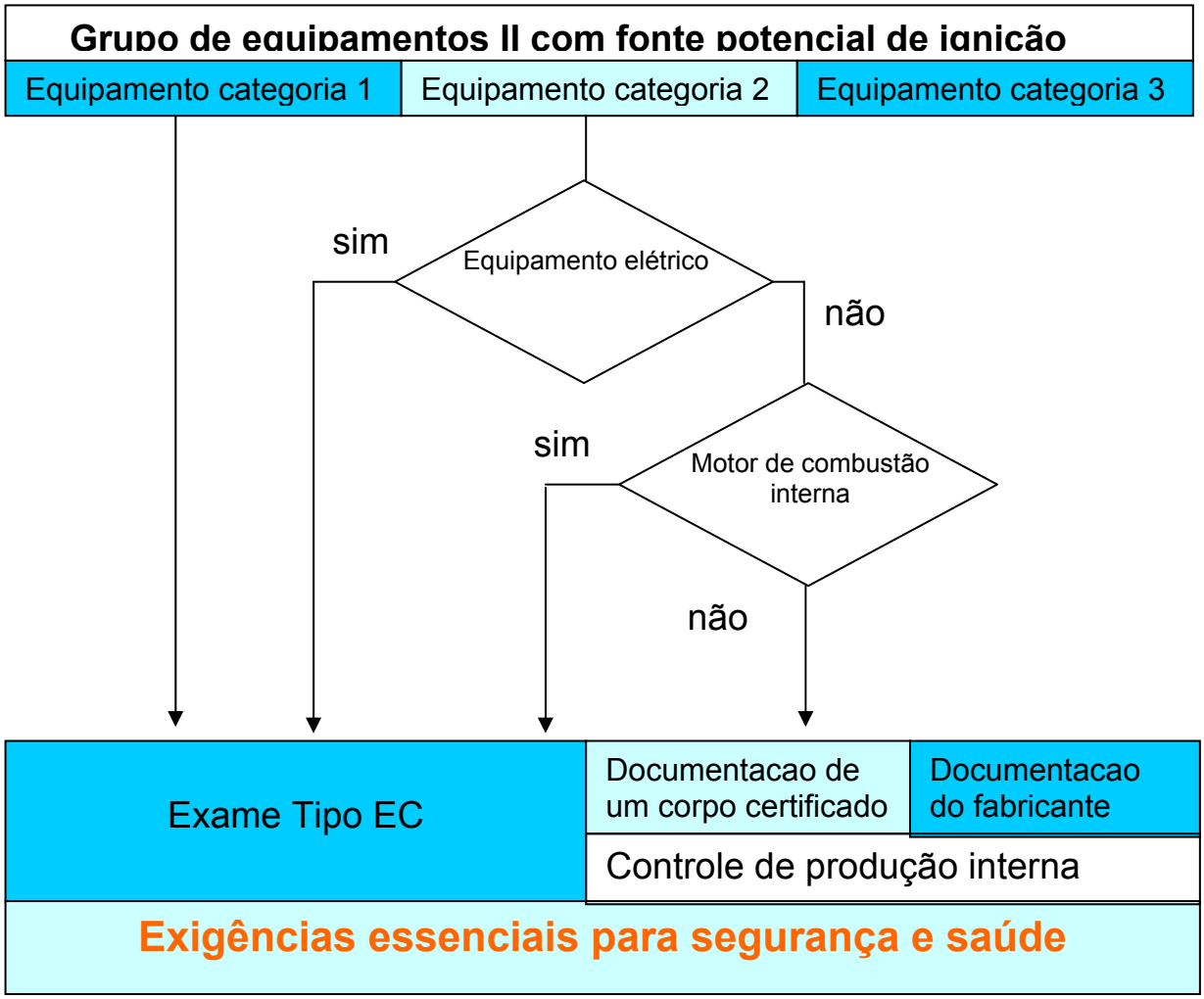
Braunschweig, November 05, 1999

Sheet 1/1

Fig. 1.6. Notificação de Estabelecimento da Qualidade da Produção


Equipamento Grupo II
Equipamento Categoria 1
Equipamento Categoria 2
Equipamento Categoria 3
Equipamento Elétrico
Máquina Combustão Interna
Equipamento Não Elétrico
Módulo
III
Certificado Exame Tipo EC
Certificado de Exame Tipo EC (procedimento estabelecimento de conformidade)
IV
Garantia da Qualidade da Produção
ou
V
Verificação do Produto
VI
Conformidade ao Tipo
ou
VII
Garantia da Qualidade do Produto
VIII
Máquina Combustão Interna
Controle Interno da Produção
Documentação para Corpo Notificado
Exigências básicas de segurança a serem satisfeitas pelo equipamento e sistemas de proteção


Corpo Atribuição de Conformidade
Equipamento
Documentação, incluindo Manual de Instrução
Certificado de Exame Tipo EC
Relatório de Teste
Manual de Instrução Revisto
Fabricante
Voluntário
Certificado de Exame Tipo EC
Equipamento
Marcação CE
Manual de Instrução
Declaração Conformidade
Usuário



Exemplos de marcação			
II 1G	grupo II	Categoria 1 (zona 0)	G = gás, vapor, névoa
II 2G	grupo II	Categoria 2 (zona 1)	G = gás, vapor, névoa
II 3G	grupo II	Categoria 3 (zona 2)	G = gás, vapor, névoa
II 1D	grupo II	Categoria 1 (zona 20)	d = Pó (dust)
II 2D	grupo II	Categoria 2 (zona 21)	D = pó (dust)
II 3D	grupo II	Categoria 3 (zona 22)	D = pó (dust)

Fig. 1.7. Marcação de equipamento para atmosfera potencialmente explosiva

Fig. 1.8. Marcação de equipamento em conformidade com normas da Comunidade Européia

5.3. Classificação de Zonas

Áreas em que podem ocorrer atmosferas explosivas devem ser classificadas em diferentes Zonas, como especificado no Anexo I da Diretiva. Três Zonas são definidas para gases e três Zonas para pó, dependendo da probabilidade de ocorrer tal atmosfera.

Gases, vapores e nevoas flamáveis

Zona 0

Um local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura com ar de substancias flamáveis na forma de gás, vapor ou nevoa está presente continuamente ou por longos períodos ou freqüentemente.

Zona 1

Um local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura com ar de substancias flamáveis na forma de gás, vapor ou nevoa é provável de ocorrer em operação normal ocasionalmente.

Zona 2

Um local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura com ar de substancias flamáveis na forma de gás, vapor ou nevoa não é provável de ocorrer em operação normal, mas se ocorrer, irá persistir somente por um curto período de tempo.

Pós combustíveis

Zona 20

Um local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar está presente continuamente ou por longos períodos ou freqüentemente.

Zona 21

Um local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar é provável de ocorrer em operação normal ocasionalmente.

Zona 22

Um local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar não é provável de ocorrer em operação normal, mas se ocorrer, irá persistir somente por um curto período de tempo.

No caso de pós combustíveis, é também necessário considerar camadas, depósitos e montes de pós como causas possíveis de atmosferas explosivas.

Operação normal se refere à situação quando as instalações estão usadas dentro de seus parâmetros de projeto.

5.4. Documento de proteção contra explosão

Depois de o empregador ter feita a classificação das Zonas e as identificado com sinais de aviso como estabelecido no Anexo III da Diretiva, é exigido elaborar o documento de proteção contra explosão. Antes de tudo, ele mostra todos os riscos de explosão determinados, as medidas tomadas para evitar a ocorrência de atmosferas explosivas e as classificações de Zona. Estão no documento as medidas tomadas de acordo com o Anexo IIA para observar as exigências mínimas. Estas também consideram as partes da planta não sujeitas a um perigo de explosão, mas que podem afetar a segurança das áreas em exista um risco de explosão.

Fig. 1.12. Marcação de instrumento para atmosfera explosiva

5.5. Anexo IIA: Exigências mínimas para melhorar a segurança e a proteção da saúde dos trabalhadores potencialmente em risco de atmosferas explosivas

1. Medidas organizacionais

1. Treinamento apropriado dos trabalhadores
2. Instruções e permissões de trabalho por escrito
3. Onde requerido, instruções escritas de como fazer o trabalho
4. Sistema de permissões de trabalho requeridas para atividades perigosas

2. Medidas de proteção contra explosão

1. Tornar segura qualquer atmosfera explosiva que apareça por algum meio
2. Tomar medidas de proteção para o maior risco potencial
3. Prevenção de todos os perigos de ignição (tais como eletricidade estática)
4. Colocação em serviço do equipamento somente se o documento sobre a proteção contra explosão indicar que ele é seguro para uso em atmosfera explosiva
5. Instalação e operação depois que o risco de explosão tenha sido minimizado
6. Sinalização (visual ou sonora) para o aparecimento de atmosfera explosiva
7. Provisão de facilidades de fuga
8. Segurança contra explosão revista por um especialista antes do uso inicial
9. Medidas indicadas por um estabelecimento de risco
10. Riscos criados pela falha da alimentação
11. Operação manual do equipamento e sistemas de proteção
12. Dissipação segura de energia acumulada depois de desligamento de emergência

Tab.1.2. Estrutura da Diretiva 1999/02/EC – Provisões

Seção das Provisões		
Cap.	Artigo	Titulo
I	1-2	Provisões gerais
II	3-9	Obrigações do empregador
	3	Prevenção de e proteção contra explosão
	4	Estabelecimento dos riscos de explosão
	5	Obrigações gerais
	6	Tarefas de coordenação
	7	Locais onde atmosferas explosivas podem ocorrer
	9	Exigências especiais para equipamento de trabalho e locais de trabalho
III	10-15	Provisões miscelâneas

Tab.1.3. Estrutura da Diretiva 1999/02/EC – Anexos

Anexos	
I	Classificação dos locais onde atmosferas explosivas podem ocorrer: Locais onde atmosferas explosivas podem ocorrer Classificação de locais perigosos
IIA	Exigências mínimas para melhorar a proteção de segurança e saúde de trabalhadores potencialmente em risco de atmosferas explosivas Medidas organizacionais Medidas de proteção contra explosão
IIB	Critérios para a seleção de equipamento e sistemas de proteção
III	Sinais de advertência para locais onde atmosferas explosivas podem ocorrer

5.6. Anexo IIB: Critérios para a seleção do equipamento e sistemas de proteção

Se o documento sobre a proteção contra explosão baseado no estabelecimento de risco não estabelecer diferente, o equipamento e sistemas de proteção são selecionados de acordo com a Diretiva 94/9/EG.

Zona	Categoria
0 ou 20	1
1 ou 21	1 ou 2
2 ou 22	1, 2 ou 3

5.7. Anexo III

Sinal de advertência (Fig. 12) para marcação de áreas em que podem ocorrer atmosferas explosivas.

Além destes sinais de advertência, o documento sobre proteção contra explosão deve especificar como os locais e equipamentos, incluindo os dispositivos de alarme, são projetados, operador e mantidos com o enfoque devido à segurança.

Este documento deve ser emitido antes do comissionamento do trabalho e deve ser revisado sempre que o local de trabalho, equipamento de trabalho ou organização do trabalho tenha sofrido alterações, extensões ou conversões significativas.

6. Normas nos EUA

6.1. Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

Nos Estados Unidos da América, o assunto que envolve a segurança e a saúde ocupacionais é de lei. Em 29 DEZ 70 foi promulgada pelo Congresso a lei publica 91-596 da OSHA (Occupational Safety and Health Administration). Este ato define o local seguro para todo o americano trabalhar nele, afetando todos os profissionais envolvidos em projeto, instalação e operação. Os engenheiros, arquitetos e construtores de equipamentos e prédios devem incluir em seus planos e projetos tudo que deva satisfazer as normas de segurança e saúde, a fim de evitar as penalidades pelo seu não cumprimento. As penalidades podem ser as de refazer os projetos, alterar prédios e equipamentos já acabados, pagar pesadas multas financeiras e até fechar plantas. O ato da OSHA compreende sete grandes áreas:

1. local do trabalho,
2. maquina e equipamentos,
3. materiais,
4. empregados,
5. fontes de energia,
6. processos e
7. regras administrativas.

A OSHA é uma agência governamental federal americana relacionada com a jurisdição sobre certas profissões. Com relação às instalações elétricas em áreas perigosas, as exigências requeridas pela OSHA são basicamente as mesmas do NEC, embora elas sejam detalhadas em documentos próprios.

Em outras áreas, a OSHA incorpora as normas existentes elaboradas pelas instituições especificas ou outras organizações como:

1. AEC (Atomic Energy Commission)
2. AGA (American Gas Association)
3. API (American Petroleum Institute),
4. ANSI (American National Standards Institute,
5. ASME (American Society of Mechanical Engineers),
6. ASTM (American Society for Testing and Materials),
7. IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers
8. ISA (ex-Instrument Society of America, Instrumentation, Systems and Automation)
9. MSHA (Mine Safety and Health Administration)
10. NEMA (National Electrical Manufacturers Association)
11. NFPA (National Fire Protection Association),

6.2. Factory Mutual (FM)

O FM é uma das duas grandes autoridades americanas de aprovação e é reconhecida pelo OSHA (Occupational Safety and Health Act). O laboratório FM foi fundado em 1835 com o objetivo de segurar mutuamente um consórcio de fabricas têxteis.

Não há diferença no nível de segurança dos produtos aprovados pelos dois laboratórios americanos FM e UL. Ambos os laboratórios são independentes, não comerciais, não governamentais e usam normas nacionalmente reconhecidas. A aprovação é usualmente baseada em testes feitos em seus próprios laboratórios segundo suas normas; testes de conformidade com outras normas podem também ser feitos. Os resultados dos testes, juntos com os desenhos, formam o relatório que é copiado aos fabricantes. O laboratório FM edita anualmente a lista de certificados (Approval Guide).

Atualmente, o FM tende a enfatizar e usar o conceito de parâmetro de entidade, que facilita e torna mais flexível a aplicação da segurança intrínseca ao sistema.

6.3. Underwriter Laboratories (UL)

O outro laboratório americano de certificação é o UL, fundado em 1894, para testar e examinar os equipamentos elétricos para uso pessoal e industrial e os perigos de incêndio para as companhias de seguro. Em 1917 se tornou uma organização independente, auto-suficiente, não lucrativa. O UL prepara suas próprias normas e lista os serviços que estão relacionados com as suas normas. Muitas normas do UL são reconhecidas como normas americanas

6.4. Código Elétrico Nacional (NEC - National Electrical Code)

As regras nacionais de instalação nos EUA estão especificadas no Código Elétrico Nacional (NEC ® - *National Electrical Code*). Comparadas com as européias, estas normas são mais abrangentes no escopo em definir quais instalações podem ser instaladas quais zonas. A Zona 2 (Divisão 2), é considerada

com maior importância por ter a mais área numa classificação típica da indústria. Como resultado, inúmeros componentes certificados e tipos de equipamento são aprovados para Zona 2.

O tipo tradicional de proteção nos EUA é a proteção de invólucro à prova de explosão. Em anos recentes, porém, a proteção de segurança intrínseca – já bem conhecida na Europa – tem se tornado muito mais aplicada. Este tipo de proteção apareceu pela primeira vez no NEC 1990. Além disso, a proteção de segurança aumentada já está sendo usada e garantidamente irá crescer em importância no futuro.

O NEC é publicado a cada três anos e é reconhecido como norma pelo ANSI (*American National Standards Institute*) e como o guia das instalações elétricas em locais perigosos nos EUA.

O NEC possui uma introdução e nove capítulos.

Os capítulos 1, 2, 3 e 4 se aplicam de modo geral e cobrem as definições, exigências gerais para as instalações elétricas, projeto e proteção de fiação, métodos, fiação e equipamento para uso geral.

Os capítulos 5, 6 e 7 se aplicam aos locais especiais e perigosos, aos equipamentos especiais ou a outras condições especiais. Estes suplementam ou modificam as regras dos capítulos 1, 2, 3 e 4.

O capítulo 8 cobre os sistemas de comunicação e é independente dos outros.

O capítulo 9 trata de tabelas e exemplos.

Cada capítulo do NEC é dividido em artigos, partes, seções e subseções.

Os artigos cobrindo os locais perigosos são organizados e arranjados de um modo lógico para tornar fácil achar os assuntos específicos.

O artigo 500 cobre as exigências gerais do equipamento e fiação elétricos para todas as tensões em locais onde pode existir o perigo de fogo e explosão, devido a gases, vapores, líquidos, pós e fibras inflamáveis.

O artigo 501 cobre as necessidades para os locais perigosos com presença de gases inflamáveis.

O artigo 502 cobre as necessidades para os locais perigosos com presença de pós inflamáveis.

O artigo 503 cobre as necessidades para os locais perigosos com presença de fibras inflamáveis.

Os artigos 510 a 517 incluem as necessidades para os locais perigosos específicos, tais como postos de gasolina, garagens comerciais, hangares de aviação, que são muito comuns e para os quais há orientação especifica de classificação.

Desde 1996, o NEC também tem contido o sistema de zona europeu.

Cada área com um perigo de explosão pode ser classificada com base no NEC. Os capítulos individuais são intitulados como:

NEC 501 – Locais de Classe I
NEC 502 – Locais de Classe II
NEC 503 - Locais de Classe III
NEC 504 – Sistemas intrinsecamente seguros
NEC 505 – Locais Classe I, Zona 0, 1 e 2
NEC 510 – Locais perigosos (classificados)
NEC 511 – Garagens, oficinas e estacionamentos comerciais
NEC 513 – Hangares aéreos
NEC 514 – Postos de Gasolina
NEC 515 – Plantas de armazenagem de produtos crus
NEC 516 – Aplicação de spray, pintura e revestimento
NEC 517 – Facilidades de cuidado de saúde

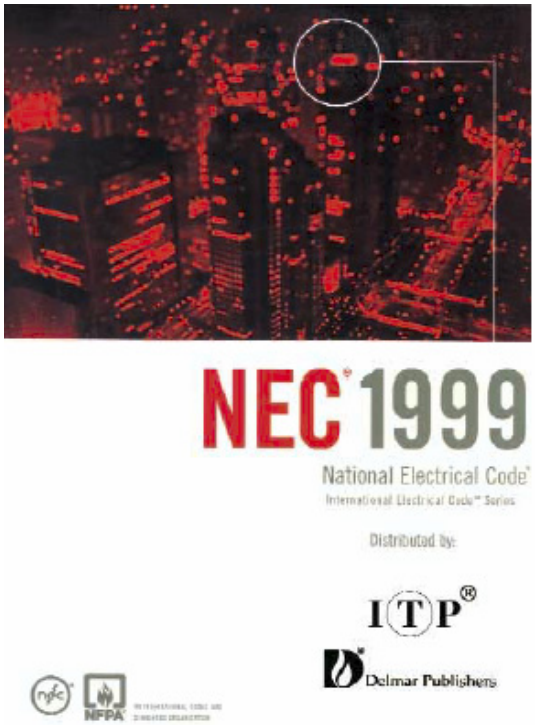


Fig. 1.13. NEC Edição 1999

6.5. Instrumentation, Systems and Automation (ISA)

As normas ISA relacionadas com a segurança de equipamentos elétricos em áreas perigosas são:

ISA S 12.00.01 – 1999: Electrical apparatus for use in Class I, Zones 0 & 1 hazardous (classified) locations – General Requirements

ISA S 12.02.01 – 1999: Definitions and information pertaining to electrical instruments in hazardous (classified) locations

ISA S 12.02.01 – 1999: Electrical apparatus for use in Class I, Zones 0, 1 & 2 hazardous (classified) locations – Intrinsic safety requirements

ISA TR 12.06.01 – 1999: Wiring practices for hazardous (classified) locations instrumentation, Part 2: Installation in a Class I, Division 2/Zone 2 hazardous location

ISA TR 12.13.01 – 1999: Flammability characteristics of combustible gases and vapors

ANSI/ISA S 50.02, Part 5 – 1999: Fieldbus standard for use in industrial control systems,

Part 5: Application layer service definition

Part 6: Application layer protocol specification

ISA S 82/02.01 – 1999: Safety standard for electrical and electronic test, measuring, controlling, and related equipment – general requirements

7. Conclusão

As normas devem sempre ser seguidas. A não conformidade de normas relacionadas com a segurança de instalações elétricas em áreas perigosas pode resultar em catástrofes, onde estão envolvidas vidas humanas, propriedades das empresas e o meio ambiente.

Nenhuma norma é melhor que outra, porém, por uma questão de coerência em um mundo globalizado, as normas internacionais devem ser as preferidas.

Explosão e Incêndio

Objetivos de Ensino

1. *Conceituar de modo simplificado explosão, ignição, combustão e incêndio.*
2. *Listar as condições necessárias e suficientes para iniciar e manter a ignição.*
3. *Conceituar fonte de energia elétrica e termal e mostrar o perigo do instrumento elétrico.*
4. *Mostrar as diferentes substâncias inflamáveis e os gases mais interessantes.*

1. Conceitos Básicos

1.1. Definições

Área perigosa

Área em que a atmosfera pode se tornar explosiva (o perigo é potencial).

Atmosfera explosiva

Uma mistura com ar, sob condições atmosféricas, de substancias flamáveis na forma de gás, vapor ou névoa, em tais proporções que ela pode ser explodida por temperatura excessiva, arcos voltaicos ou faíscas (o perigo é real).
Condições atmosféricas são:
Pressão total de 0,8 a 1,1 bar
Temperatura de -20 a +60 ^{o}C
Além disso, o risco de explosão existe quando duas outras condições são satisfeitas ao mesmo tempo:

1. A proporção do material inflamável é tão alta que uma mistura explosiva pode ser formada
2. Há uma fonte de ignição na mesma área que pode provocar a ignição da mistura

Se, no evento de haver uma ignição de uma mistura explosiva, as pessoas forem direta ou indiretamente ameaçadas, isto é então classificada como uma atmosfera potencialmente explosiva. Decidir se uma atmosfera é potencialmente explosiva ou não é algo aproximado. Em ambientes fechados, independente do seu tamanho, 10 litros de atmosfera explosiva são já considerados perigosos. Se o volume do local é menor que 100 m^3, isto também se aplica a quantidades menores.

Classificação mecânica do invólucro

A classificação mecânica do invólucro de instrumento elétrico e não elétrico é a proteção que garante seu funcionamento sem se danificar no ambiente em que estiver instalado.

A classificação mecânica pela norma americana NEMA inclui um número que varia de 0 (sem proteção) até13 (maior grau de proteção).

A classificação mecânica pela norma internacional IEC é a proteção de ingresso (IP) com dois dígitos. O primeiro digito, que varia de 0 a 6 indica a proteção contra o contato acidental e corpos sólidos estranhos. O segundo digito que varia de 0 a 8 indica a proteção contra água. Quanto maior o número, maior é o grau de proteção proporcionado pelo invólucro.

Por exemplo, IP 54 significa uma proteção contra depósito de pó nocivos (5) e proteção contra respingos de água de qualquer direção (4).

Combustão ou Fogo

A combustão é uma forma especial de oxidação. Em qualquer lugar, em todo o tempo, o oxigênio combina com outros elementos. O ferro se combina com o oxigênio para formar o óxido conhecido como ferrugem. A prata escurece, o cobre fica com um revestimento esverdeado. O oxigênio se combina rapidamente com certos tipos de combustíveis, tais como carvão, óleo, gasolina, madeira e é liberada uma grande quantidade de calor.

Combustão é uma reação química em que uma substância combina com um oxidante e libera energia, na forma de calor e, às vezes, luz (chama). Parte da energia liberada é usada para sustentar a reação.

Quando a combustão envolve chama, é chamada de fogo.

Deflagração

Uma explosão com uma onda de choque resultante movendo em uma velocidade menor que a velocidade do som no meio não reagente.

Detonação

Uma explosão com uma onda de choque resultante movendo em uma velocidade maior que a velocidade do som no meio não reagente.

Explosão

Uma explosão é definida como uma reação repentina envolvendo uma oxidação rápida física ou química ou um decaímento, gerando um aumento na temperatura ou pressão ou ambos simultaneamente. As reações mais conhecidas são as de gases, vapores ou pós inflamáveis com o oxigênio contido no ar atmosférico.

A explosão pode ser considerada como uma expansão rápida de gases resultando em uma onda de choque ou de pressão se movendo rapidamente. A expansão pode ser

1. Mecânica, como a ruptura repentina de uma vaso pressurizado, com gás não reativo.
2. Química, como resultado de uma reação química rápida.

O dano da explosão é causada pela pressão ou onda de choque.

Explosão confinada

Explosão que ocorre dentro de um vaso ou edifício. Ela é mais comum e usualmente mais perigosa que a não confinada para as pessoas que estão no local confinado.

Explosão não confinada

Explosão não confinada ocorre no ar livre. Esta explosão geralmente resulta de vazamento de gás inflamável. O gás é disperso e se mistura com o ar, atingindo uma concentração perigosa, e a mistura encontra uma fonte de energia. Explosão não confinada é mais rara que a confinada, pois geralmente a mistura é diluída pelo vento abaixo do limite inferior de inflamabilidade. A explosão não confinada geralmente tem maior poder destrutivo que a confinada, pois há envolvimento de maior quantidade de gás e de maior área.

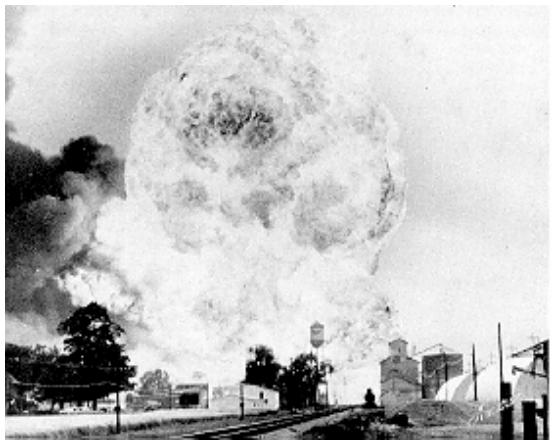


Fig. 2.1. Explosão de um tanque de LPG em Crescent City, IL, 21 JUN 1970, (Anderson Watseka)

Explosão de Pó

Explosão resultante da combustão rápida de partículas sólidas finas. Muitos materiais sólidos, como ferro e alumínio, se tornam muito flamáveis quando reduzidos a um pó fino.

Explosão de Vapor Expandindo de Líquido Evaporando (BLEVE – Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)

Explosão que ocorre se uma vaso rompe contendo um líquido, em uma temperatura acima do ponto de ebulição à pressão atmosférica. Esta explosão ocorre quando uma fonte externa aquece o conteúdo do tanque com material volátil. Quando o conteúdo do tanque se aquece, a pressão de vapor do líquido dentro do tanque aumenta e a integridade estrutural do tanque diminui por causa do calor. Se o tanque se rompe, o líquido quente se vaporiza, causando explosão (mecânica). Se a nuvem vaporizada for combustível, pode haver outra explosão (química).

Faixa de ignição

A faixa de ignição fica entre um limite inferior e um limite superior. Abaixo do limite mínimo a concentração dos gases e vapores combustíveis (em percentagem de volume ou kg/m^3) é muito baixa para causar combustão ou explosão. Acima do limite superior de ignição a mistura é muito rica em frações combustíveis para ocorrer uma explosão.

Ignição

A ignição de uma mistura inflamável pode ser causada pelo contato da mistura com uma fonte de ignição com energia suficiente ou a mistura atingindo uma temperatura alta suficiente para causar uma auto-ignição.

Limites de Inflamabilidade

As misturas gás – ar só podem entrar em ignição e queimar dentro de uma faixa bem especificada de composições, acima de um limite inferior inflamável (LIF) e abaixo de um limite superior inflamável (LSF). Os Limites de Inflamabilidade são também chamados de Limites de Explosividade.

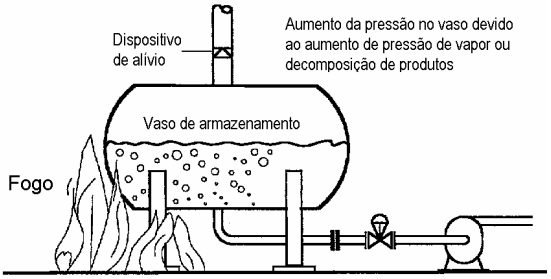


Fig. 2.2. Fogo em processo industrial

Mistura explosiva

Uma mistura específica de gás inflamável e ar, usada para testar equipamento elétrico para áreas perigosas.

Onda de choque

Onda de pressão se movendo através de um gás. Uma onda de choque em ar aberto é seguida por um forte vento.

Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor de um liquido é a mínima temperatura em que o liquido se evapora, para formar uma mistura com ar em concentração suficiente para provocar uma ignição, próxima da superfície do líquido. Em inglês, ponto de fulgor é *flash point*.

Ponto de Fogo

O ponto de fogo é a mínima temperatura em que um vapor acima da superfície liquida contínua a queimar assim que entra em ignição. A temperatura do ponto de fogo é maior que a do ponto de fulgor.

Temperatura de auto-ignição

Uma temperatura fixa acima da qual uma mistura inflamável é capaz de extrair energia suficiente do ambiente para entrar em combustão espontaneamente.

2. Combustão e Explosão

2.1. Introdução

O termo explosão é usado, nesse trabalho, para designar qualquer combustão não desejada e não controlada. Outras definições envolvem termos como fenômeno não confinado, deflagração, detonação de alta velocidade, ignição, chama, fogo.

A explosão pode ser considerada como uma onda de combustão autopropagante que não é mantida sob controle. Não há diferença fundamental entre uma explosão industrial, que destrói propriedades e mata pessoas e a combustão no forno de um fogão a gás, exceto que a primeira não é mantida sob controle.

Ignição é o processo de começar a queima de uma mistura combustível ou a própria queima. A combustão é a queima de gás, liquido ou sólido, em que o combustível é oxidado, envolvendo calor e muitas vezes, luz. Gás combustível é aquele que se queima.

Historicamente, os especialistas começaram a estudar o fenômeno, debatendo se a ignição de um gás ou vapor inflamável é de natureza térmica ou iônica. Atualmente, se considera o processo de ignição como um fenômeno químico termal. São processos semelhantes a combustão, a chama, o aquecimento de um corpo e a ignição de um arco voltaico.

Sob certas condições, a combustão pode começar por si. Por exemplo, o carvão empilhado fora de casa, combina lentamente com o oxigênio do ar, liberando calor. Se o calor não se dissipa suficientemente rápido, a temperatura sobe, aumentando a velocidade de reação e às vezes ela se torna tão rápida, que é há queima.

Fig. 2.3. Explosão

Geralmente, a combustão começa quando se aplica o calor de uma fonte externa a um combustível. A madeira na churrasqueira não se queima por si. Necessita-se a chama de um fósforo para acender e iniciar o processo de queima.

Obviamente, alguns materiais se queimam mais rapidamente do que outros. Em geral, o grau de inflamabilidade depende da facilidade com que a substância de transforma em gás, porque praticamente nada se queima, até que seja transformado em gás. Esta transformação, por sua vez, depende da natureza e da quantidade da substância, comparada com a quantidade de calor disponível para começar a combustão.

Uma vela ilustra bem o ponto. Para fazer a vela queimar, ela se transforma em gás com a ajuda de um estopim ou fio de pano. Pela ação capilar, o fio faz subir uma quantidade de cera derretida, pequena em relação a chama de um fósforo, mas suficiente para elevar a temperatura da cera ao seu ponto de vaporização. Uma vez a cera seja vaporizada (transformada em gás), a queima é relativamente fácil de começar. A queima da cera libera um calor adicional suficiente para continuar o processo de derretimento, vaporização e ignição.

Embora o pavio eventualmente seja consumido, ele realmente não contribui nada para o processo de queima. Ele é meramente um dispositivo mecânico para criar condições que são necessárias para começar e manter a combustão.

2.2. Condições para Ignição

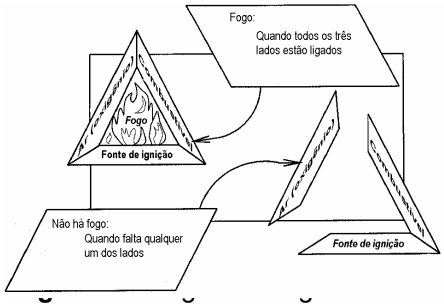
De um modo muito simplificado, uma explosão pode ocorrer somente se duas condições são satisfeitas simultaneamente:

1. existência de uma mistura *inflamável*, em uma concentração apropriada e em volume suficiente para manter a autopropagação da onda de combustão
2. existência de uma fonte de energia capaz de fornecer um nível de energia suficiente para causar a ignição do material inflamável.

Se não houver a ocorrência simultânea dessas duas condições não há ignição.

Outro modo de dizer a mesma coisa: para haver uma combustão (fogo ou explosão) são necessários três elementos:

1. combustível,
2. comburente (ar)
3. a fonte de energia.



O tratamento teórico do fenômeno de ignição, considerando-se os aspectos cinéticos e termodinâmicos, está além do objetivo desse trabalho. Porém, é possível e necessário se fazer um estudo simplificado e aproximado do fenômeno de ignição e explosão, para entendê-lo e aplica-lo nas técnicas alternativas de segurança de instrumentos elétricos usados em áreas perigosas.

Nas áreas de produção e trabalho um risco crescente de explosão pode se desenvolver sempre que as precondições para uma explosão forem preenchidas. Áreas típicas de perigo de explosão se formam em plantas químicas, refinarias, tintas, moinhos, solventes e armazenagem de produtos e pós combustíveis, áreas de tancagem e carregamento de gases, líquidos ou sólidos inflamáveis.

Os primeiros dois componentes – a substância inflamável e o ar – devem estar

presentes em quantidades suficientes para formar uma atmosfera potencialmente explosiva. As definições estatutárias da proteção contra explosão – deduzidas das normas de trabalho sobre saúde e segurança – estão relacionadas com os locais de trabalho. Por isso, discussões acerca da proteção contra explosão são geralmente restritas às reações com o oxigênio no ar. Reações de oxidação normalmente envolvem a liberação de calor e o aumento da pressão e portanto preenchem os critérios de uma explosão.

É geralmente assumido que um volume de 10 L de um mistura potencialmente explosiva em um espaço fechado pode causar perigo – principalmente para pessoas. Por isso, qualquer área em que tal volume de uma mistura potencialmente explosiva possa existir é descrita como zona de perigo de explosão.

Outros compostos tais como cloro em reação com hidrogênio são também capazes de formar mistura potencialmente explosiva e ter já provocado explosões no passado. Porém, como estas reações usualmente ocorrem dentro de containeres ou reatores, eles se relacionam com a segurança destas plantas e seus efeitos no ambiente tão tratados com a diretiva de máquina EC e análise de incidentes.

Fig. 2. 5. Triângulo do perigo

2.3. Processo de Combustão

Quimicamente, a combustão pode ser separada em duas categorias:

1. oxidação direta de gases, líquidos e sólidos combustíveis que não necessitam se decompor ou alterar por pirólise para se queimar. (Pirólise é a decomposição ou alteração química provocada pela ação do calor, independente da temperatura envolvida.)
2. oxidação seqüencial de líquidos ou sólidos combustíveis que entram em pirólise para se queimar.

A combustão ou queima do tipo direto necessita apenas de um ponto de ignição para se processar. A substância deve ser aquecida até sua temperatura de ignição para se oxidar rapidamente com criação de calor e luz. Por exemplo, quando se queima o gás natural, que é usado universalmente como fonte de calor para fins domésticos e industriais, o gás queima imediatamente em chama. Um fósforo aceso aumenta a temperatura do gás para sua temperatura de ignição. O gás é influenciado por este calor para se combinar com o oxigênio. A chama de queima se propaga e garante a continuação da combustão. A reação é:

metano + oxigênio = dióxido carbono + água

$$CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O$$

Pode haver sólido com oxidação direta, como o enxofre. Quando um fósforo aceso ou outra fonte de calor é aplicada ao enxofre sólido ou pó de enxofre, o material se derrete, se vaporiza para produzir uma mistura de vapor de enxofre e ar em torno da fonte de calor. Esta mistura atinge seu ponto de ignição e combina com o oxigênio no ar. O calor desta reação derrete mais enxofre, vaporizando mais sólido e o processo se mantém continuamente. Tem-se uma ignição, conforme a seguinte reação química:

enxofre + oxigênio = dióxido de enxofre (gás)

$$S + O_2 = SO_2$$

Tab. 2.1. Queima das Substâncias

Substâncias que se queimam diretamente	**Substâncias que se queimam por pirólise**
Gás natural (metano)	Madeira
Acetileno	Papel
Enxofre	Tintas a óleo
Vapor gasolina (C_8H_{18})	Tecidos
Álcool etílico (C_2H_5OH)	Plásticos
Carvão, C	Borracha

A queima de papel ou madeira é um exemplo de combustão com pirólise. O papel ou a madeira é uma combinação química complexa de carbono, hidrogênio e oxigênio. Para se queimar, estas moléculas orgânicas devem se decompor ou entrar em pirólise, sob a influência de calor para produzir gás e sólidos combustíveis mais simples que se oxidam. Quando um fósforo aceso é aplicado a um

pedaço de papel, os compostos de carbono, hidrogênio e oxigênio começam a se decompor (*pirolisar*) em compostos diferentes ou em seus constituintes. Alguns produtos desta pirólise são gases combustíveis que entram em ignição na chama do fósforo. Outro produto da decomposição é o carbono, que irá se queimar no envoltório da chama. Quase todos os produtos da pirólise do papel ou madeira se queimam e geram calor em uma combustão contínua. No mundo real das substâncias combustíveis, quase todos os sólidos e líquidos tendo em sua composição carbono e hidrogênio queimam por pirólise e oxidação seqüencial.

2.4. Propagação da Combustão

Assuma-se que uma fonte pontual de energia forneça a energia We a uma mistura combustível, aumentando-se a temperatura local no ponto da descarga da energia, até que um pequeno núcleo da mistura entre em combustão. Após a ignição inicial, o material queimado acrescenta energia ao núcleo do gás. Ao mesmo tempo, a condução e a radiação termais transferem calor ao gás vizinho, ainda não queimado. A faixa de gás não queimado que circunda o núcleo em ignição também atinge a temperatura de ignição. A ignição dessa nova faixa de gás e a expansão térmica do gás previamente queimado fazem aumentar o material em ignição. Tem-se a propagação de onda de combustão. Em uma situação ideal, o crescimento da combustão é esférico. A onda de combustão age como uma película de uma bolha. Nessa analogia, a bolha começa com um volume inicial quase zero e cresce esfericamente. A onda de combustão progride para o gás não queimado e deixa atrás de si um rastro de gás queimado.

Na esfera de combustão, a temperatura mais elevada está na zona de combustão. Adiante da zona de combustão o gradiente de temperatura vai até a temperatura ambiente do gás não queimado. Atrás da zona de combustão estão os gases queimados, que são resfriados da temperatura da chama até a temperatura ambiente. Admite-se que não há compressão dos gases queimados, o que complicaria desnecessariamente o modelo.

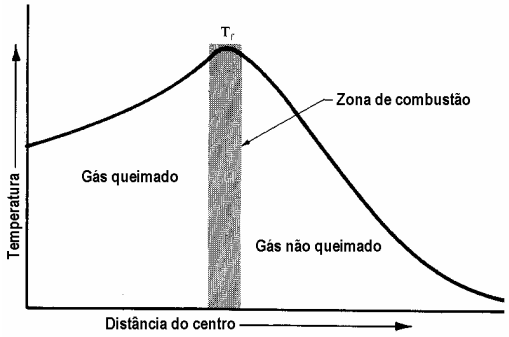


Fig. 2.6. Esquema simplificado da combustão de gás

2.5. Energia Crítica de Ignição

Dados experimentais evidentes mostram que há uma energia de ignição critica, Wc, que deve ser fornecida à mistura gasosa para provocar a combustão inicial. Energia menor que a critica não é capaz de começar e manter o processo de ignição.

Os dados experimentais mostram, também, que o valor dessa energia critica, Wc, está relacionada com um diâmetro da esfera de chama, Dc. Se a energia inicialmente fornecida é menor que a energia critica, então a onda de combustão não se propagará e extinguirá antes de atingir o diâmetro critico Dc. Se a energia inicial entregue a mistura é igual ou maior que a energia critica, então a onda de combustão continuará a crescer. Ela atingirá o diâmetro critico e continua a se propagar e em termos práticos, há uma explosão.

Há uma relação entre o nível de energia de ignição critica e o diâmetro da esfera de chama critico. Em uma onda de combustão plana e permanente, a quantidade de energia por unidade de volume da frente da onda, Wa, é acrescentada a zona de reação pela combustão é suficiente justamente para aumentar a temperatura de ignição gás que ainda não queimou e suprir as perdas do gás já queimado, atrás da zona de combustão. Em uma onda esférica de diâmetro pequeno, menor que o critico, a energia na zona de reação é insuficiente para fazer a onda se propagar.

O diâmetro critico da esfera de chama, no qual a propagação alcança essencialmente as condições de propagação (a onda esférica se torna plana) é determinado pelas propriedades

físicas e químicas do material combustível. Quanto maior o diâmetro critico, maior deve ser a quantidade de energia que deve ser suprida pela fonte. Qualquer mistura combustível é caracterizada por um diâmetro critico e por um nível de energia de ignição critico, que são correlatos.

A energia critica da ignição, Wc, representa a quantidade de energia requerida para suprir o déficit entre o calor fornecido à combustão e o calor necessário para fazer a chama atingir o diâmetro critico Dc.

Na literatura especializada, o diâmetro critico é frequentemente chamado, por causa dos testes para sua determinação, de diâmetro de extinção, distância de extinção, distância de resfriamento, diâmetro de resfriamento (*quenching*).

Esses conceitos de energia de ignição critica, diâmetro de extinção, foram apresentados de modo muito simplificado, porém, o foi de maneira a se entender as técnicas de proteção que atuam nas características da mistura inflamável ou na fonte de ignição elétrica.

2.6. Temperatura de Ignição

As substâncias combustíveis não *pegam fogo* ou começam a se queimar à mesma temperatura. A temperatura em que elas entram em ignição é característica de cada substância e é determinada pelas suas composições e propriedades. A combustão e a queima são reações químicas. Para haver estas reações químicas, as moléculas da substância combustível devem atingir uma determinada temperatura pela adição de energia calorífica. Esta temperatura em que as moléculas estão prontas para combinar com as moléculas do oxigênio do ar é a temperatura de ignição. Nesta temperatura, a reação de combustão continua sem qualquer entrada externa de calor, pois a substância libera calor de sua própria combustão e a queima se auto-sustenta.

A temperatura de ignição dos materiais combustíveis depende das condições ambientais e de contorno e por isso não é muito precisa. Uma mesma substância pode se queimar em determinada temperatura para determinada situação; se a situação mudar, a temperatura de ignição também muda.

2.7. Ponto de Fulgor (*Flash*)

O ponto de fulgor (*flash*) é mais definido e preciso que a temperatura de ignição e por isso é mais útil. O ponto de fulgor de um liquido é a mínima temperatura em que o liquido se evapora, em concentração suficiente para provocar uma mistura inflamável com o ar, próxima da superfície do liquido. No ponto de fulgor, o vapor se queima, mas por curto período de tempo pois o vapor produzido é inadequado para sustentar a combustão.

Um liquido inflamável ou combustível deve estar no seu ponto de fulgor ou acima dele, para poder ocorrer uma explosão. Onde um liquido inflamável ou combustível está presente, é necessário que este material esteja acima ou em seu ponto de fulgor para poder haver uma explosão.

Líquidos combustíveis ou inflamáveis são classificados (NFPA 321) com base na probabilidade da presença dos vapores explosivos.

Liquido inflamável é aquele com o ponto de fulgor abaixo de 37,8 ^{o}C (100 ^{o}F) e com a pressão de vapor menor que 370 kPa (40 psia ou 2.068 mm Hg) a 37,8 ^{o}C. São os líquidos da Classe I.

Liquido combustível é aquele com o ponto de fulgor acima de 37,8 ^{o}C. São os líquidos da Classe II.

Por exemplo, a gasolina verde de aviação tem ponto de fulgor igual a -46 ^{o}C e por isso emite vapores explosivos em qualquer condição, exceto em temperaturas abaixo de -46 ^{o}C. O hidrogênio é gás, exceto em temperaturas criogênicas e por isso é sempre considerado perigoso. O óleo diesel 1-D tem um ponto de fulgor mínimo de 37,8 ^{o}C e não emite vapores perigosos, a não ser que seja aquecido acima de 37,8 ^{o}C. A norma NFPA 325 M lista as propriedades combustíveis de muitas substâncias.

Quando os líquidos combustíveis e inflamáveis continuam a ser aquecidos acima do ponto de fulgor, eles atingem uma temperatura em que a saída dos vapores inflamáveis estão em equilíbrio com o ar, de modo que seus vapores continuam a se queimar mesmo depois da fonte de ignição ser removida. Este é o ponto de queima da substância. O ponto de queima dos líquidos é sempre alguns graus acima do ponto de fulgor.

O principal perigo de fogo dos materiais está no ponto do tempo e temperatura em que as condições potenciais de fogo começam a existir. No caso de líquidos inflamáveis e combustíveis, o primeiro ponto de perigo é o

ponto de fulgor. As temperaturas destes líquidos devem ser reduzidas abaixo deste ponto para parar a emissão de vapor. O ponto de queima estabelece somente um grau de perigo e a diminuição de temperatura abaixo deste ponto não remove o perigo.

De acordo com a diretiva técnica sobre líquidos inflamáveis, líquidos inflamáveis são divididos em quatro classes de acordo com seu flash point:

Classe de perigo	Flash point (^oC)
AI	<21
AII	21 a 55
AIII	55 a 100
B	<21, a 15 ^oC

2.8. Limites de Inflamabilidade

Há uma grande quantidade de gases e vapores que são capazes de reagir com o oxigênio do ar. Os gases que não se queimam são relativamente poucos e são chamados de inertes. Exemplos de gases inertes: nitrogênio, hélio, dióxido de carbono, vapor d'água e tetra cloreto de carbono.

Há gases oxidantes diferentes do oxigênio que podem propagar chama quando misturados com gases combustíveis, como o cloro.

Todos os gases e líquidos inflamáveis e combustíveis aquecidos acima do seu ponto de fulgor podem entrar em ignição. Para a maioria dos materiais, há uma concentração mínima e outra máxima no ar (oxigênio) ou outro oxidante para poder haver combustão, quando a mistura entra em contato com uma fonte de energia.

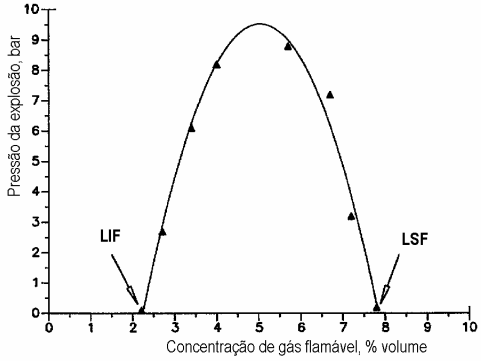


Fig. 2.7. Limites de inflamabilidade para um vapor típico

Uma mistura é capaz de explodir quando, em condições atmosféricas, sua concentração está dentro de certos limites específicos para o tipo de substância. O limite inferior explosivo define a concentração abaixo da qual uma mistura não é capaz ainda de explodir. O limite superior explosivo define a concentração acima da qual uma mistura já não é mais capaz de explodir. Somente entre os limites inferior e superior, a mistura explosiva pode explodir. Em condições diferentes das atmosféricas, os limites de explosão se alteram. Quando a proporção de oxigênio aumenta, o limite superior explosivo também aumenta.

Geralmente, os limites explosivos são indicados em percentagem por volume. Percentagem por volume, abreviado como %/vol, significa a percentagem de volume da substância combustível na mistura. O limite inferior explosivo de Hidrogênio é 4,0% /vol e o limite superior é 75,6%/vol. Os coeficientes de segurança definem quantitativamente os dados acerca das propriedades da maioria dos produtos conhecidos.

Não há combustão quando o gás é puro (100%) ou não há gás (0%). Nas condições de gás puro ou ar ambiente puro, a energia de ignição seria infinita ou a velocidade de ignição seria zero. Uma mistura gasosa somente provoca a propagação da chama se sua percentagem de gás estiver acima de uma valor mínimo e abaixo de um valor máximo de concentração. Essas percentagens são chamadas de *limite inferior* e *superior de inflamabilidade*, respectivamente.

Todos os gases, vapores, suspensões de pó combustíveis e inflamáveis possuem limites definidos de concentrações em ar, dentro dos quais eles se propagam. Fora dos limites de inflamabilidade (abaixo do mínimo ou acima do máximo), a energia de ignição requerida é tão elevada que não se consegue uma chama auto-sustentável. Quando se fornece energia a uma mistura que tem concentrações fora dos limites, pode haver a queima de algum material, porém, não haverá propagação da combustão.

Os limites de inflamabilidade dependem do tipo do gás combustível, das condições ambientes de pressão e temperatura, da concentração de oxigênio e do nível de energia disponível para testar a mistura.

O efeito da temperatura ambiente é alargar os limites de inflamabilidade, isto é, o aumento da temperatura ambiente diminui o limite mínimo e aumenta o limite máximo. O efeito da pressão, na qual está submetido a mistura gasosa, também é o de alargar os limites.

Porém, o aumento da pressão estática não altera o limite mínimo. O aumento da pressão faz aumentar o limite máximo de inflamabilidade.

Quando ocorre aumento do oxigênio na mistura, o limite superior sobe muitíssimo, aumentando o perigo da área.

As substâncias com limites mais largos de inflamabilidade são mais perigosas por causa da maior possibilidade de confrontação com uma mistura inflamável ocorrendo em uma faixa mais larga de circunstâncias.

Por exemplo, para se ter uma ignição de mistura de metano + ar a concentração da mistura deve ser maior que 4,5% e menor que 15% de metano.

Tab. 2.2. Limites de Inflamabilidade de Vapores

Gás	LEI, %	LES, %
Acetileno	2,5	100
Acetona	2,6	12,8
Álcool	2,5	19,0
Benzeno	1,3	7,1
Butano (GLP)	1,9	8,5
Gás natural	3,8	17,0
Gasolina	1,4	7,6
Hidrogênio	4,0	76,0
Metano (GN)	4,5	15,0
Propano (GLP)	2,2	9,5
Querosene	0,7	5,0
Solvente	2,6	12,8

Legenda

LEI - Limite explosivo inferior
LES - Limite explosivo superior

Um método eficiente para diminuir e eliminar a capacidade dos gases entrar em combustão ou explodir é pela diluição do gás perigoso com um gás inerte. Teoricamente isto é conseguido através:

1. da diminuição da quantidade de oxigênio disponível,
2. do aumento da quantidade do gás inerte introduzido, diminuindo o limite inferior da mistura.

A percentagem de gás inerte necessária para produzir uma atmosfera segura varia com relação à natureza do gás combustível e do gás inerte. Por exemplo, o hidrogênio no ar se torna não inflamável quando a mistura contem 62% de CO_2 ou 75% de N_2. Misturas de metano + ar são não inflamáveis quando há 38% de N_2.

Sob o ponto de vista de segurança, os limites inferiores de inflamabilidade são mais interessantes que os superiores, pois eles indicam as concentrações mínimas em que a combustão começa. Porém, certas substâncias como acetileno, hidrazina e n-propil nitrato tem limites superiores de 100%. Estas substâncias queimam sem oxidante (ar, oxigênio). Estas substâncias que queimam na ausência de oxigênio, como os combustíveis de foguete, são chamados de *mono propelentes*.

2.9. Mistura mais facilmente inflamável

Toda mistura gasosa de ar possui, ainda, uma concentração ótima para a ignição que requer a mínima energia de ignição. Em qualquer outra concentração, a energia para provocar a combustão é maior que a mínima energia de ignição. A concentração em que a energia de ignição é mínima chama-se concentração mais facilmente queimada.

O desenvolvimento da onda de combustão depende basicamente da transferência da energia térmica da zona de queima do gás para uma zona adjacente de gás não queimado. Transferência mais rápida implica em desenvolvimento da chama mais veloz. Ou seja, a onda de combustão viaja dentro dos gases não queimados em uma velocidade definida, chamada de velocidade de queima. Essa velocidade depende da composição da mistura, variando de valores nulos, nos dois limites de inflamabilidade e atingindo um valor máximo na concentração mais facilmente inflamável.

Para a mistura hidrogênio + ar a velocidade máxima de queima vale 3 m/s. Para os hidrocarbonetos, a velocidade de combustão vale tipicamente 0,5 m/s.

A velocidade de queima pode ser aumentada sensivelmente quando há turbulência ou detonação.

Os pós combustíveis também possuem limites de inflamabilidade, usualmente chamados de concentrações explosivas, embora eles não sejam bem definidos como o são para os líquidos e gases.

Os testes mostram que os gases e vapores de produtos petroquímicos requerem aproximadamente 0,25 mJ de energia para entrarem em combustão, quando em mistura adequada com o ar.

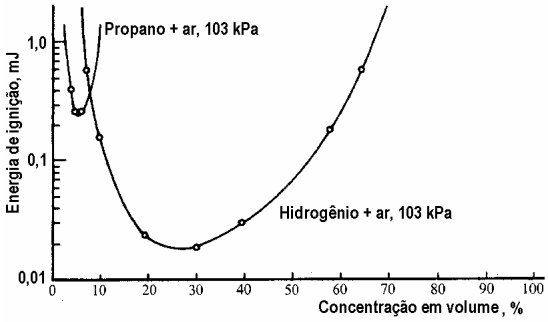


Fig. 2.8. Energia de ignição em relação à concentração de hidrogênio e propano com ar

A energia de ignição das misturas ótimas de pós e fibras com o ar é aproximadamente o dobro ou o triplo daquelas dos gases e vapores.

Os materiais explosivos não precisam estar necessariamente no estado gasoso; pó, fibras finas e líquidos atomizados também podem queimar-se muito rapidamente e explodir. Quanto mais fino for o tamanho do grão, maior é a velocidade da chama. A velocidade da chama ou velocidade de queima dos materiais varia com o material e com a sua concentração no ar. Quanto maior a velocidade da chama, mais violenta é a explosão resultante, ou seja, maiores são a pressão da explosão e a velocidade de aumento da pressão. O acetileno possui a maior velocidade de chama possível.

Tab. 2.3. Energia Mínima de Ignição

Produto	Energia (mJ)
Acetileno	0,017
Ciclopropano	0,18
Etileno	0,08
Hidrogênio	0,017
Metano	0,30
Propano	0,25

(Do Bureau of Minas, RI 5671)

Tab. .2.4. Energia Mínima de Ignição

Produto	Energia (mJ)
Alumínio	15
Magnésio	40
Carvão	30-60
Enxofre	15
Fenol formaldeido	15

(Do NMAB 353-4)

2.10. Combustíveis

Diz-se que para um fogo começar basta um combustível, um comburente (oxidante) e uma fonte de ignição. Isto é muito simplificado pois o processo é mais complexo.

A fonte deve ter uma energia suficiente para provocar e manter a combustão. A mistura do combustível com o oxidante precisam estar em proporções convenientes (estequiométricas), em contato íntimo entre si, em modo apropriado para entrar em reação e em quantidade suficiente para a combustão se manter.

Combustível é a substância que age como redutor, devolvendo elétrons para um oxidante em uma combinação química. O combustível pode ser

1. elemento, como o carbono, hidrogênio ou magnésio
2. compostos simples, como monóxido de carbono (CO), metano (CH_4)
3. composto complexo, como madeira ou borracha
4. uma mistura de todos eles.
5. Oxidante é a substância que adquire os elétrons do agente redutor em uma reação química. Ele pode ser
6. elemento como o flúor, oxigênio ou cloro,
7. composto que libera facilmente flúor, oxigênio e cloro
8. acido forte como o nítrico e sulfúrico
9. composto que libera radicais negativos complexos.

2.11. Substâncias inflamáveis

Substâncias inflamáveis podem ser gasosas, liquidas ou sólidas. Para um discussão geral e relevante para locais de trabalho, deve-se considerar sua reatividade com o oxigênio atmosférico.

Gases inflamáveis

Um gás inflamável pode ser um elemento, tal como o hidrogênio, que pode reagir com oxigênio com muito pouca energia adicional. Gases inflamáveis são geralmente compostos de carbono e hidrogênio. Estes gases inflamáveis requerem somente pequenas quantidades de energia para reagir com o oxigênio atmosférico.

Um vapor é uma proporção de um líquido – se falando acerca da proteção contra explosão de líquidos inflamáveis – que tem evaporado no ar vizinho, como resultado da pressão de vapor acima da superfície do líquido, em torno de um jato deste líquido ou em torno de gotas

deste líquido. Nevoa é um tipo especial, que por causa de seu comportamento de explosão, pode ser incluído com os vapores, para os fins de preencher as considerações de segurança.

Líquidos inflamáveis

Líquidos inflamáveis são geralmente compostos de hidrocarbono, tais como éter, álcool, acetona ou gases de petróleo. Mesmo na temperatura ambiente, quantidades suficientes destes líquidos podem se transformar em vapor, de modo que se forma uma atmosfera potencialmente explosiva próximo de sua superfície. Outros líquidos formam tal atmosfera próximo de sua superfície somente se houver aumento de temperatura. Nas condições atmosféricas, este processo é fortemente influenciado pela temperatura do líquido.

Por este motivo, o ponto de fulgor, ou seja, a temperatura do ponto de fulgor, é um fator importante quando tratando de líquidos inflamáveis. O ponto de fulgor relaciona a temperatura mais baixa em que um líquido inflamável irá, sob certas condições de teste, formar uma quantidade suficiente de vapor em sua superfície para permitir uma fonte de ignição efetiva provocar a ignição da mistura vapor e ar.

O ponto de fulgor é importante para a classificação de áreas perigosas. Líquidos inflamáveis com um alto ponto de fulgor são menos perigosos que aqueles com uma ponto de fulgor próximo ou abaixo da temperatura ambiente.

Quando se faz o spray de líquidos inflamáveis, pode-se formar uma névoa consistindo de gotículas muito pequenas com uma área de superfície total muito grande. Neste caso, o ponto de fulgor é de menor importância. Para uma fina nevoa – feita de um líquido inflamável – o comportamento relevante para a segurança pode ser derivada grosseiramente do conhecimento conhecido do vapor.

Sólidos inflamáveis

Sólidos inflamáveis na forma de pó, fibras ou flocos podem reagir com o oxigênio na atmosfera e produzir explosões desastrosas. Normalmente, mais energia é requerida para ativar uma explosão no ar com pó do que com gases e vapores. Porém, uma vez que a combustão comece, a energia liberada pela reação produz altas temperaturas e pressões. Além das propriedades químicas do sólido em si, a finura das partículas e a área total da superfície, que aumenta com a finura, são importantes. As propriedades são processos que ocorrem imediatamente na superfície do sólido. Acender e apagar uma vela de parafina fornece uma demonstração de uma serie de processos ocorridos por um material sólido dentro de um curto período de tempo que não pode ser facilmente ser apresentado em uma forma simplificada.

Uma experiência mostra que, quando o fio de uma vela á aceso, a parafina derrete e depois vaporiza e é este vapor que alimenta a chama. Depois de apagar a vela, o vapor da parafina pode ainda ser cheirado, a parafina derretida se solidifica e os vapores da parafina se dispersam. Agora a vela de parafina é mais uma vez um objeto sem perigo.

Os pós reagem de modo muito diferente dependendo se ele está em uma camada depositada ou se está em uma nuvem suspensa de pó. Camadas de pó são capazes de começar a se acumularem em superfícies quentes, enquanto uma nuvem de pó que tem sido incendiada localmente ou através do contato com uma superfície quente pode explodir imediatamente. Explosões de pó são geralmente a conseqüência de camadas de pós acumuladas que se tornam agitados e já provocam o início da ignição. Quando tal camada é agitada, por exemplo, por métodos mecânicos de limpeza ou tentativas não apropriadas de extinção, isto pode levar a uma explosão com pó.

Uma explosão com gás ou vapor pode também agitar o pó, que então geralmente leva à explosão do gás, primeiro, tornando-a secundária. Em minas de carvão profundas, explosões com metano geralmente tem provocado explosões com pó de carvão cujas conseqüências são muito mais serias do que a explosão original com metano.

Exemplos de materiais inflamáveis normalmente incluem:

1. combustíveis para aquecimento e para acionamento de motores de combustão interna e de foguetes
2. solventes e agentes de limpeza
3. lubrificantes
4. revestimentos como tintas e graxas
5. refrigerantes como amônia e metil-cloreto
6. inseticidas,
7. plásticos e polímeros,
8. produtos de madeira e vegetais,
9. produtos de papel,
10. materiais de tecidos e fibras,
11. produtos de borracha,
12. metais como sódio, potássio, césio, rubídio,
13. pós, fibras, fitas ou fios finos metálicos

Produtos de outras reações

Produtos de outras reações ou processos que agem como combustíveis:

1. monóxido de carbono (CO), produto da combustão incompleta de compostos orgânicos,
2. hidrogênio liberado durante a carga de baterias, pela composição de água em superfícies muito quentes e pela relação entre água e hidratos de sódio, potássio ou lítio
3. gases liberados de destilação de materiais orgânicos,

Materiais inflamáveis

Materiais não inflamáveis ou de baixa inflamabilidade no ar são aqueles que podem queimar somente com um forte oxidante, alta concentração de oxigênio, temperatura muito elevada ou forte fonte de ignição. Materiais não inflamáveis são:

1. hidrocarbonos halogenados, como tri-cloro-etileno,
2. borrachas e sabões de silicone,
3. plásticos e polímeros retardantes, isolantes de fios,
4. metais, como magnésio, alumínio, titânio e zircônio.
5. metais em pó cromo magnésio, alumínio, titânio e ferro.
6. material selante e de engaxetamento.

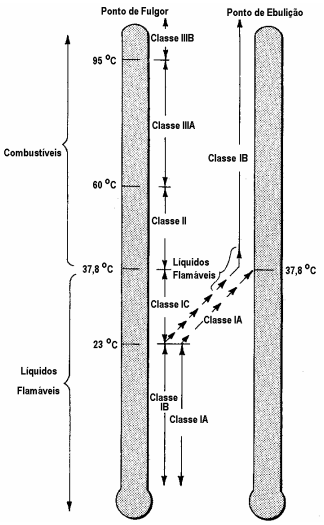


Fig. 2.9. Líquidos combustíveis e inflamáveis

2.12. Gases de Interesse

Acetileno

O acetileno é um gás inflamável, extremamente reativo que não pode ser armazenado em estado comprimido sozinho sem a possibilidade de se dissociar em carbono e hidrogênio, com liberação de energia. Ele é armazenado em cilindros que contem uma massa monolítica muito porosa feita de cimento, asbestos, terra diatomácia e carvão. A massa de enchimento anidro, contendo cerca de 80% de espaço vazio, é preenchida com acetona. O gás acetileno é bombeado no cilindro com tabulação de diâmetro pequeno, para suportar a eventual pressão de decomposição, até uma pressão máxima de 1,7 MPa (250 psig). A acetona dissolve 25 vezes seu próprio volume de acetileno por cada 100 kPa (14,7 psig). Um cilindro típico de acetileno para solda contem cerca de 30 litros de acetona, com aproximadamente 19 kg de acetona e 9 kg de acetileno.

O acetileno é extremamente inflamável, com uma faixa de 2,5% a 81%. Sob certas condições, ele se dissocia em concentrações de gás de 81 a 100%, liberando energia de calor no processo. Por isso, autores consideram que o acetileno entra em ignição em qualquer percentagem acima de 2,5% até 100%.

Por causa de sua altíssima reatividade e método não convencional de armazenagem, todos os tanques de acetileno são providos de plugues fusíveis que se abrem em torno de 100 ^{o}C. Isto deve ocorrer próximo de uma fonte de ignição, uma tocha acesa de gás queimando a uma distância de 3 a 3,6 m da abertura do vent.

Amônia anidra

A amônia anidra é um gás transportada nas fases líquida - gasosa sob pressão. Ela é razoavelmente perigosa com relação à combustão e à explosão, nas faixas entre 16% e 25% em volume de ar e é tóxica para os tecidos humanos, por causa de sua rápida solubilidade em água para produzir hidróxido de amônia caustico. A amônia é usada como fertilizante, como refrigerante e como fonte de hidrogênio pela decomposição em altas temperaturas.

Dióxido de carbono

O dióxido de carbono (CO_2) ou gás carbônico é inerte. É transportado em cilindros

e *containeres* nas fases líquida - gasosa sob pressão. Ele é não tóxico, mas é um perigoso asfixiante em quantidades maiores do que 5 a 7% em volume de ar. Ele é um gás mais pesado que o ar. Em temperaturas acima de 30 ^{O}C o dióxido de carbono existe somente na fase gasosa em seu *container*. Ele é usado em extintores de incêndio, porque a descarga rápida da pressão do gás resfria o dióxido de cargo, formando partículas sólidas (neve).

O monóxido de carbono (CO) não é inerte, mas inflamável, pois ele ainda pode reagir com oxigênio (oxidar ou queimar) transformando-se em CO_2 .

Etileno

O etileno é transportado como um gás comprimido em alta pressão e é usado no amadurecimento de frutas em concentrações muito baixas. Ele é altamente inflamável na faixa de 2,7% a 36% em volume de ar. Ele reage violentamente com gases oxidantes e como sua densidade é aproximadamente igual à do ar, ele se mistura rapidamente quando liberado na atmosfera e pode formar misturas explosivas.

Hidrogênio

O hidrogênio é um gás permanente elementar, sem cheiro, mais leve que o ar e tendo uma alta relação de difuso. Ele é extremamente inflamável, com uma faixa de inflamabilidade larga de 4,0% a 75% por volume. Ele queima com uma chama quase não luminosa e entra em ignição com baixo nível de energia, como faísca de fricção. Quando misturado em proporções estequiométricas corretas com o oxigênio (2 volumes de H_2 e 1 volume de O_2), ele explode com intensidade, gerando vapor d'água.

Nitrogênio

O gás nitrogênio é inerte. Ele não reage com outras substâncias, exceto em condições especiais de temperatura e pressão. Ele é transportado em forma criogênica (baixa temperatura) ou comprimida (alta pressão). Ele não é tóxico, exceto que ele substitui rapidamente o oxigênio, asfixiando as pessoas. Ele também pode ser usado para produzir atmosferas gasosas para impedir combustão.

Oxigênio

O gás oxigênio não é inflamável, mas é capaz de suportar e acelerar chamas e explosões. Ele reage com um grande número de substâncias e é especialmente reativo com materiais de todos os tipos que contenham carbono e hidrogênio. O oxigênio muda materialmente as tendências de *combustão* das substâncias até o ponto que elas possam se queimar em explosões. As características de facilidade e promoção de combustão do oxigênio o tornam perigoso, mesmo que ele não seja inflamável em si.

A quantidade de oxigênio no ar é somente suficiente para oxidar ou queimar certa quantidade do material inflamável. A relação que pode ser determinada teoricamente, é chamada de mistura estequiométrica. Quando a quantidade da substância inflamável e o oxigênio atmosférico disponível são próximos da relação correta, o feito da explosão – aumento da temperatura e da pressão – é mais violento. Se a quantidade do material inflamável é muito pequena, a combustão irá somente se espalhar com dificuldade ou irá cessar junto. A situação é similar quando a quantidade do material inflamável é muito grande para a quantidade de oxigênio disponível no ar.

Todos os materiais inflamáveis tem uma faixa explosiva, que também depende da energia de ativação disponível. Isto é usualmente determinado provocando a ignição da mistura com uma faísca elétrica. A faixa de explosão é limitada pelos limites inferior e superior da explosão. Isto significa que abaixo do mínimo e acima do máximo, não acontece explosão. Este fato pode ser utilizado pela diluição suficiente das substâncias inflamáveis com ar ou evitando o ingresso do ar ou oxigênio em partes do equipamento. A ultima opção, porém, não é possível ou é possível somente sob restrições em ambientes onde as pessoas trabalham regularmente e deve ser reservado para equipamento tecnológico.

O oxigênio é transportado como um gás comprimido em cilindros em alta pressão.

Gás liquefeito de petróleo (GLP)

O gás liquefeito de petróleo é uma mistura de propano e butano com menores quantidades de etano. Eles são transportados em bujões ou cilindros nas fases líquida e gasosa sob pressão. O gás e o liquido são altamente inflamáveis e explosivos na faixa de 1,55% a 9,60% em volume de ar. Não se pode armazenar GLP em tanques pressurizados por causa da possibilidade de escape da fase liquida. O liquido produz cerca de 260 volumes de gás inflamável por volume de liquido. Os tanques de GLP estão sujeitos ao fenômeno de fogo conhecido como BLEVE (*boiling liquid expanding vapor explosion*), quando são aquecidos pela combustão do gás

acidentalmente escapado de um ponto onde o vaso possui fraturas causadas pelo aquecimento. Quando isso acontece, a fase gasosa escapa e queima em uma grande bola de fogo e a fase liquida imediatamente ferve e expande para volumes inflamáveis de 260 vezes a quantidade de liquido presente.

O GLP é possui uma larga utilização, desde isqueiros a grandes fornalhas industriais. Para detectar vazamentos, os gases possuem um cheiro artificial à base de enxofre (mercaptano)

O gás liquefeito do petróleo é diferente do gás natural liquefeito. O gás natural tem predominância de metano e sua faixa de inflamabilidade está entre 5,3% a 14%.

As composições típicas de **gás natural** usado como combustível são variáveis e as faixas típicas estão mostradas abaixo:

metano	70 - 96%
etano	1 - 14%
propano	0 - 4%
butano	0 - 2%
pentano	0 - 0,5%
hexano	0 - 2%
CO_2	0 - 2%
oxigênio	0 - 1,2%
nitrogênio	0,4 - 17%

Alguns constituintes, como vapor d'água, sulfeto de hidrogênio, hélio, gasolina são removidos antes da distribuição.

3. Fonte de Energia Elétrica

3.1. Introdução

Na prática, a ignição de um gás inflamável pode ser provocada por instrumentos elétricos quando ocorrer algum dos seguintes eventos:

1. aparecimento de faísca ou fagulha (*spark*)
2. aparecimento de arco voltaico
3. alta temperatura de superfícies ou componentes elétricos
4. efeito corona.

Os circuitos elétricos passivos podem ser resistivos, capacitivos e indutivos. O circuito resistivo só pode dissipar energia, em forma de calor. Os circuitos capacitivo e indutivo armazenam energia.

3.2. Circuito Capacitivo

A energia elétrica está armazenada no circuito capacitivo por causa do campo elétrico e a energia é liberada quando o contato se fecha. Quanto maior a tensão, maior a energia armazenada, pois é valida a seguinte equação:

$$E_C = \frac{1}{2} C V^2$$

onde

E_C é a energia armazenada no circuito capacitivo,

C é o valor da capacitância, efetiva e parasita,

V é a tensão aplicada ao circuito.

Quanto mais lento for o fechamento do contato capacitivo, maior o perigo de aparecer o arco voltaico.

3.3. Circuito Indutivo

Também, há a formação do arco voltaico na abertura de contatos de circuitos indutivos. A energia elétrica está armazenada no circuito indutivo por causa de um campo magnético e a energia é liberada quando o contato se abre, interrompendo a corrente. Outro modo de explicar o arco voltaico: pela lei de Lenz, quando se pretende interromper (desligar) a corrente de um circuito indutivo, aparece uma tensão induzida, que tenta impedir a variação da corrente elétrica. A alta tensão induzida provoca o arco voltaico. Quanto maior a corrente, maior a energia armazenada pois é valida a equação seguinte:

$$E_L = \frac{1}{2} L I^2$$

onde

E_L é a energia armazenada no circuito indutivo

L é o valor da indutância, efetiva e/ou parasita

I é a corrente que circula no circuito indutivo

Quanto mais rápido for a abertura do circuito indutivo, maior o perigo de aparecimento do arco voltaico.

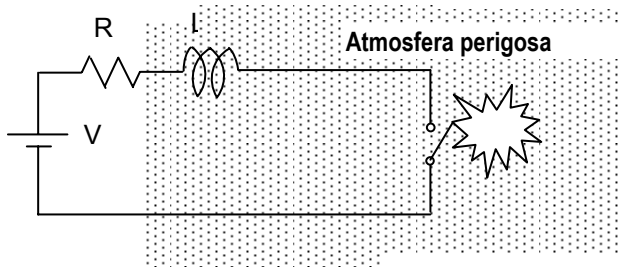


Fig. 2.11. Circuito com resistência, indutância e capacitância

3.4. Circuito Resistivo

Nos casos limites, quando a capacitância e indutância tendem para zero, resta apenas o circuito resistivo. Embora pouco provável, é possível o aparecimento de arco voltaico no fechamento e abertura de um circuito resistivo. Como não há tensão induzida para manter o arco, o processo é menos perigoso e menos provável. Mais frequentemente e de mesma natureza que a abertura de contato, é a queima de um fusível que pode provocar o aparecimento de faísca.

Um instrumento elétrico pode se transformar numa fonte térmica, através do efeito Joule. Ou seja, componentes e fios, percorridos por corrente elétrica podem dissipar energia, na forma de calor e se aquecerem, Quando a temperatura do componentes ou do fio atingir a temperatura de auto-ignição da mistura inflamável, pode haver ignição e explosão. Obviamente, um fio elétrico que se aquece só pode atingir uma temperatura menor que sua temperatura de fusão. Ao atingir a sua temperatura de fusão, o fio se rompe, zerando a corrente elétrica. O rompimento do fio pode provocar o aparecimento de arco voltaico.

3.5. Faísca, Arco e Efeito Corona

Faísca é uma descarga rápida e elevada de elétrons. Ela pode ser uma simples descarga que consome toda a energia em um sistema elétrico ou pode ser uma série, quando a energia da descarga é reposta. O contato inicial entre condutores não é necessário para provocar uma faísca. Pode ocorrer uma faísca quando um caminho ionizado é completado entre dois condutores ou um condutor e o terra.

Faíscas elétricas visíveis e luminárias devem ser normalmente consideradas fontes de energia perigosas. Somente faixas com muito baixa energia de apenas microjoules podem ser consideradas incapazes de iniciar uma explosão. Por isso, medidas apropriadas devem ser adotadas para evitar estas fontes de ignição.

Exemplos: faíscas de chaveamento, faíscas em coletores ou comutadores.

Arco é um jato sustentado de elétrons através de um espaçamento criado quando duas superfícies metálicas que estavam em contato se separam. Embora o arco seja também chamado de faísca de abertura, o arco é usado para indicar uma corrente que flui através de uma pequena distância. Quando a distância aumenta, o comprimento do arco aumenta até haver uma separação tão grande que o arco se extingue. A energia para manter um arco é menor que a necessária para iniciar o arco.

A formação de um arco depende principalmente da distância entre as superfícies, tensão, corrente, pressão, constante dielétrica do meio, materiais das superfícies. Por exemplo, a pressurização pode evitar o aparecimento de arco em um sistema elétrico.

Os arcos podem ser intencionalmente produzidos ou podem ser inconvenientes. O arco de uma maquina de solda é desejável e serve para provocar calor e fundir metais. Os arcos provocados no fechamento e abertura de contatos são inconvenientes, pois danificam as superfícies de contato, soldam e removem materiais.

O efeito corona ocorre em circuitos de alta tensão, quando a ruptura de um espaçamento entre dois condutores é parcial. A tensão se eleva muito, insuficiente para provocar arco ou faísca mas suficiente para ionizar o gás. A descarga corona começa mais facilmente em proximidade de pontas e protuberâncias. Os íons formam uma nuvem que começa a se deslocar para o eletrodo oposto, estabelecendo uma pequena corrente contínua, chamada de corrente corona. Este efeito pode produzir brilho no escuro, ruído sibilante e interferência eletromagnética. Em casos severos, o brilho é tão intenso em torno da superfície que é chamado de *fogo de Santelmo*. Quando o potencial entre as superfícies aumenta, pode haver uma ruptura completa do dielétrico e o aparecimento de faísca.

Os arcos, faíscas e coronas destroem a utilidade de isolação dos isolantes. A ionização produz óxido nitroso do nitrogênio atmosférico. O óxido e a umidade foram acido, que afeta a isolação. O efeito destrutivo da descarga corona é menos aparente e mais lento, porém é mais perigoso pois diminui a isolação sem

ser notado e provoca faísca, quando a isolação fica pequena.

Os arcos, faíscas e coronas também geram ruído elétrico, que reduz a eficiência do equipamento elétrico. Porém, o pior efeito dos arcos e faíscas é a causa de ignição ou explosão de atmosferas combustíveis e explosivas.

3.6. Contato Elétrico

Como já visto, o fechamento e abertura de contatos elétricos podem provocar faíscas e arcos voltaicos. Estes fenômenos dependem

1. do material dos contatos e dos eletrodos
2. dos níveis de tensão e de corrente dos circuitos
3. da freqüência das tensões e das correntes alternadas
4. da velocidade de abertura ou de fechamento dos contatos.

Há interesse no conhecimento profundo dos fenômenos de ignição provocada por contatos elétricos para o pessoal que executa os testes de aprovação e de certificação dos equipamentos. Para aplicação em técnicas de proteção de instrumentos elétricos em áreas perigosas é importante ressaltar o seguinte:

1. nem toda faísca provocada por fonte elétrica é suficiente para provocar e manter a ignição de uma mistura especifica do gás. Há faíscas elétricas, provocadas por curto circuitos ou mau contato elétrico que não possuem níveis de energia suficientes para provocar e manter a ignição.
2. a mínima energia de ignição geralmente é um fenômeno de alta tensão.

A maioria dos instrumentos de controle e comunicação manipulam níveis de sinais elétricos de baixa potência: tensão de alimentação típica de 24 V cc e corrente de transmissão padrão de 4 a 20 mA cc. Atualmente, com a aplicação de circuitos a microprocessadores digitais, a tendência é a de se usar níveis de tensão próximos de 5 V cc. Os arcos voltaicos ocorrem em tensões acima de 300 V.

3.7. Faísca Mecânica

Faíscas mecânicas podem ser geradas através de equipamentos de corte e acabamento, durante a operação normal e por isso elas devem ser proibidas em zonas de perigo de explosão. Quebras em partes rotativas, partes deslizantes entre si sem lubrificação suficiente e situações similares podem gerar tais faíscas quando com defeito e isso deve ser cuidadosamente tratado, quando considerar defeitos. Exigências especiais nos materiais dos invólucros devem ser atendidas para reduzir os riscos de tais fontes de ignição.

Exemplos: ferramentais tais como esmeril e contato com ligas leves.

A faísca criada pelo choque de dois objetos também pode causar explosão. Muito pouco trabalho tem sido feito para determinar esta energia de ignição das faíscas provocadas mecanicamente, embora seja evidente que elas podem começar o fogo, como usado no isqueiro primitivo.

A faísca mecânica pode ocorrer sempre que duas superfícies se chocam, sob condições normais ou em operações de esmerilhagem, onde se forma um chafariz de faíscas ou em condições anormais, quando uma peça móvel contata acidentalmente outra peça móvel ou estacionária.

O uso de metal não-faiscador, como o bronze a algumas ligas de alumínio e de material não metálico pode reduzir a probabilidade de criação de faísca mecânica. Deve-se evitar a introdução de materiais estranhos, como rebarba de metal, em moedores, ventiladores e outros equipamentos com peças moveis.

3.8. Solda e Corte

As operações a quente, de solda e corte de chapas metálicas, feitas impropriamente, são provavelmente a causa mais comum de explosões em locais perigosos. A chama aberta ou o arco exposto é uma fonte de ignição explícita. Muitas vezes, o que provoca a ignição é a temperatura quente da chapa, após a operação de solda e com um resfriamento insuficiente.

É clássico o acidente provocado em solda de tanque *vazio*, provocado por falta de purga ou por purga mal feita.

Não há técnica automática de proteção; somente o controle dos serviços pode ser efetivo para evitar ignição ou explosão devida à solda.

3.9. Fornalha e Forno

Fornalha, forno e caldeira são fontes de ignição obvias, por causa da alta temperatura envolvida. Ainda, a fornalha ou o forno pode funcionar com a queima de óleo combustível, de modo que sempre há a presença de atmosferas perigosas em seu redor. O perigo é maior durante a partida ou parada da fornalha, quando se reduz ou corta o suprimento de ar,

permitindo a formação de misturas ar + vapores inflamáveis dentro da faixa de inflamabilidade.

Porém, se o forno ou fornalha for adequadamente instalado, mantido e operado, não será uma fonte incontrolada de ignição para o óleo fóssil ou seus vapores. A filosofia da segurança é o controle correto, mantendo-se a vazão de ar de modo que os vapores inflamáveis estejam sempre abaixo do limite mínimo de inflamabilidade.

3.10. Turbina e Caldeira

Por causa do grande volume de ar passando através da turbina de gás e a câmara de combustão, a turbina normalmente não é considerada uma fonte de ignição. Os locais onde estão montadas a turbina e caldeira não são classificadas como perigosos, somente por causa da turbina. Mesmo assim, os componentes elétricos externos devem ter alguma proteção.

No controle de caldeira é clássico o uso dos limites cruzados. Controlam-se as vazões de ar e do combustível em uma relação fixa. Neste controle, quando a carga da caldeira aumenta, aumenta-se primeiro a vazão de ar; quando a carga da caldeira cai, diminui-se primeiro a vazão do combustível. Em ambos os casos, evita-se a formação de excesso do combustível que seria perigoso.

3.11. Superfície Quente

As superfícies quentes são o resultado de perdas de energia do sistema ou de equipamentos e componentes durante a operação normal. No caso de aquecedores, elas são desejadas. Estas temperaturas podem usualmente ser controladas. No caso de um defeito – por exemplo, com sobrecarga ou mancais muito apertados – a perda de energia provoca um inevitável aumento da temperatura. Equipamento técnico deve sempre ser considerado quando estiver se estabilizando, ou seja, se ele pode manter uma temperatura final ou se a temperatura aumenta alem do permitido, o que precisa ser evitado por medidas apropriadas.

Exemplos: bobinas, resistores, lâmpadas, superfícies quentes de equipamentos, freios ou rolamentos superaquecidos.

Superfície quente é uma fonte de ignição potencial. Em geral, se a temperatura de uma superfície excede a temperatura de ignição do material envolvido, ela pode ser considerada como fonte de ignição potencial.

Porém, outras considerações devem ser feitas. Se o material inflamável se move rapidamente através da superfície quente, como uma mistura de gás e ar em uma condição turbulenta ou em um jato, a mistura não será aquecida até a temperatura da superfície quente.

Se a superfície quente é pequena em comparação com a área em que está localizada, a superfície quente não é capaz de aquecer a mistura até a sua temperatura. Esta é a situação típica de luminárias e motores instalados em locais perigosos. Um exemplo extremo de superfície pequena é um fio quente.

As normas evitam o uso de equipamento tendo uma temperatura de operação maior do que a temperatura de ignição da mistura especifica envolvida; tipicamente a temperatura de operação não deve exceder a 70% ou 80% da temperatura de ignição, em graus Celsius.

3.12. Outras Fontes de Ignição

Além das faíscas e arcos elétricos produzidos pelo fechamento ou abertura dos circuitos elétricos e pelo aquecimento de condutores com corrente elétrica, muitas outras fontes potenciais de ignição podem estar presentes, nem sempre claras e devem ser consideradas:

1. faíscas mecânicas
2. faíscas eletrostáticas causadas por componentes carregados
3. reação química exotérmica
4. ondas eletromagnéticas de alta freqüência (rádio, TV, radar)
5. radiação óptica (fontes de laser)
6. radiação de ionização (sensores de espessura a raios X)
7. ondas ultra-sônicas (medidores de densidade ou de nível)
8. compressão súbita
9. correntes de fuga (corrosão, terra)
10. raios naturais.

Eletricidade estática

Independentemente de haver ou não uma fonte de alimentação elétrica, faíscas elétricas podem ser causadas por eletricidade estática. A energia armazenada pode ser liberada na forma de faíscas e funciona como uma fonte de ignição. Como esta fonte de ignição pode aparecer independentemente de uma fonte de alimentação elétrica, ela também deve ser considerada em equipamentos não elétricos. A eletricidade estática está ligada a processos de separação.

Atrito durante a operação normal pode ser causa de cargas eletrostáticas. Por exemplo, equipamentos portáteis não podem – devido à sua portabilidade – ser aterrados ou ligados a um terminal equipotencial. Quando interagindo com roupas do usuário, a carga estática pode ocorrer durante a operação normal. Eletricidade estática deve ser evitada de se tornar uma fonte de ignição por medidas apropriadas.

Exemplos: esteiras de transmissão feitas de material plástico (isolante), invólucros de equipamentos portáteis, roupas de material sintético. Processos de separação quando enrolando papel ou plástico, sistema de tubulação de plástico, esvaziamento e enchimento de tanques com fluidos.

Correntes parasitas

Linhas elétricas e outros fontes de tensão aterradas, por exemplo, para proteção contra corrosão elétrica de equipamento, podem resultar em correntes parasitas, proteção catódica contra corrosão, que pode resultar em uma diferença de potencial entre diferentes pontos de aterramento. Isto é a razão de se ter uma conexão altamente condutiva para todas as partes eletricamente condutivas do equipamento, de modo que a diferença de potencial seja reduzida a um nível seguro. Não é importante se o equipamento condutor é elétrico ou não elétrico, pois a causa da corrente pode estar fora do equipamento.

Um circuito equipotencial deve sempre ser fornecido, independente de as correntes serem esperadas ou se suas fontes são conhecidas.

Chamas

Chamas, gases e partículas quentes podem ocorrer dentro das máquinas de combustão ou equipamentos de análise, durante a operação normal e quando ocorrer alguma falha. Medidas protetivas são necessárias aqui para evitar de modo permanente que as chamas e gases quentes deixem os invólucros.

Exemplos: Produtos liberados de máquinas de combustão interna ou partículas que são formadas pelas faíscas de chaveamento de chaves de potencial erodindo o material dos contatos das chaves.

Radiação

Entre as fontes de ignição onde a energia de radiação entra em mistura potencialmente explosiva, devem ser mencionados os seguintes equipamentos:

Ultra-sônico

Radiação eletromagnética – ondas de rádio

Radiação eletromagnética –infravermelho e luz visível

Radiação de ionização – ultravioleta

Se estes parâmetros são limitados de modo permanente, seguro e testado, os sistemas, equipamentos e parâmetros utilizando radiação podem ser operados em zonas com perigo de explosão, senão a radiação deve ser evitada de modo confiável de entrar na área de perigo de explosão.

Exemplos: equipamentos de transmissão e recepção, telefones móveis, barreiras fotoelétricas.

Ondas de choque

Finalmente, compressão adiabática e ondas de choque, quando ocorridas dentro de estruturas tubulares sob pressão podem se tornar fonte de ignição.

Exemplos: quebra de uma lâmpada fluorescente tubular que é cheia de uma atmosfera de hidrogênio e ar.

3.13. Conclusão

Para a finalidade de prover segurança a instrumentos elétricos montados em atmosfera perigosas, os fatos mais importantes são:

1. não há perigo de incêndio ou explosão, quando os valores de concentração da mistura são mantidos fora do intervalo estabelecido pelos limites mínimo e máximo de inflamabilidade. As técnicas de proteção de purga (pressurização), respiração restrita, diluição e segregação se baseiam no controle da concentração da mistura perigosa.
2. não há perigo quando o nível de energia liberado para a mistura gasosa perigosa está abaixo da mínima energia de ignição. A técnica de proteção de segurança intrínseca, segurança aumentada e não incenditivo se baseiam na limitação da energia manipulada na área perigosa, através de colocação de barreiras de energia ou de projetos especiais.
3. o efeito de resfriamento das paredes do vaso estreitam os limites de inflamabilidade da mistura. Abaixo de uma distância critica a chama é apagada, mesmo que esteja na percentagem ótima e que haja energia suficiente. A proteção de prova de explosão ou de chama se baseia no resfriamento da chama produzida no interior do equipamento, que é resfriada para uma temperatura segura.

Classificação de Áreas

Objetivos de Ensino

1. *Mostrar a terminologia e o conceito de área perigosa e não-perigosa.*
2. *Apresentar os conceitos de classe, grupo e zona (divisão) segundo as normas.*
3. *Estabelecer parâmetros para classificar e desclassificar áreas.*
4. *Apresentar os métodos clássicos de classificação de áreas: generalizado e baseado na fonte de perigo.*
5. *Mostrar o conceito de classe de temperatura.*
6. *Apresentar as recomendações quantitativas para a classificação das áreas.*
7. *Mostrar as figuras típicas de classificação de áreas em redor de equipamentos.*

1. Terminologia e Definições

1.1. Perigo (*hazard*)

Perigo é uma condição com potencial de causar ferimento em pessoas, estrago em equipamentos ou estruturas, perdas de material ou redução da habilidade de desempenhar uma determinada função. Quando há um perigo, existe a possibilidade da ocorrência destes efeitos adversos.

1.2. Grau de perigo (*danger*)

Risco expressa a exposição relativa a um perigo. Um perigo pode estar presente, mas pode haver pequeno risco por causa da precauções tomadas. Um transformador de alta tensão possui um perigo inerente de eletrocutar pessoas, quando energizado. Um alto grau de perigo existe se o transformador está não protegido e colocado em uma área movimentada com passagem de gente. O mesmo perigo está presente mesmo quando o transformador é completamente fechado e colocado em um cubículo subterrâneo trancado. Porém, o grau de perigo é quase zero para o pessoal. Uma instalação acima do chão, protegida e trancada, possui um grau de perigo intermediário entre as duas anteriores.

Um trabalhador em uma estrutura elevada está sujeito ao perigo de cair e morrer. Quando ele trabalha com um cinto de segurança adequado, o perigo é o mesmo porém o grau de perigo é menor mas não é zero, pois o cinto pode se partir.

1.3. Prejuízo (*damage*)

Prejuízo é a severidade da perda física, funcional ou monetária que resulta quando se perde o controle do perigo. Um homem sem proteção caindo de uma altura de um metro pode quebrar um braço ou deslocar o ombro. Porém, se ele cair de uma altura de 20 metros, certamente morrerá. O perigo (possibilidade) e o grau de perigo (exposição) de cair são os mesmos, mas os resultados finais das quedas são totalmente diferentes.

1.4. Segurança (*safety*)

Segurança é a ausência de perigo. Porém, é praticamente impossível eliminar completamente todos os perigos. A segurança é um assunto de proteção relativa de exposição ao perigo. Segurança é o contrario de risco de perigo.

1.5. Risco (*risk*)

Risco é a expressão da possível perda de segurança, durante um determinado período de tempo ou número de ciclos operacionais. O risco pode ser indicado pela probabilidade de um acidente vezes o prejuízo em vidas, dólares, unidades operações ou tempo da planta parada.

1.6. Normal e Anormal

Os termos normal e anormal requerem algumas explicações. Normal é o oposto de anormal. Normal não pretende significar ideal ou perfeito ou outra conotação similar. Normal

significa atual ou real, aplicado às condições existentes em uma dada planta - a norma de projeto usada realmente, o estado conseguido pela manutenção, as limitações esperadas do ambiente, as operações usuais e as práticas de operação empregadas.

Em plantas modernas manipulando materiais inflamáveis, o principal objetivo do projeto, manutenção e operação é garantir que haja poucos modos de ocorrência de uma atmosfera inflamável. Isto será conseguido através de

1. escolha correta do equipamento do processo,
2. colocação de ventilação especial,
3. layout adequado de produtos e equipamentos,
4. boa manutenção,
5. boa supervisão de produção,
6. precauções especiais similares.

Onde tais precauções podem ser consideradas como estado normal de tarefas, elas refletirão a ausência ou diminuição no número de áreas designadas como Zona 1 e na extensão de tais áreas. Quando o estado de normal é menos rigorosamente controlado, a expectativa de classificação de Zona 1 e a sua extensão é maior.

Anormal não se refere a eventos catastróficos, como a explosão de um vaso, de um reator ou de uma grande tubulação. A classificação das áreas do processo não consideram tais eventualidades.

Entre estes dois extremos, a catástrofe e a normalidade, se situa o evento anormal, que pode ocorrer em alguma ocasião, porém não tão freqüentemente. Exemplos de condições anormais de uma planta química moderna seriam:
colapso do selo de uma bomba,
falha na gaxeta de uma tubulação,
perda de controle da operação manual de drenagem de um tanque,
fratura de um pequeno trecho de uma tubulação,
vazamento acidental de pequenas quantidades de líquido inflamável.

Uma condição anormal é indesejável, imprevisível, pouco freqüente e não catastrófica. Geralmente a condição anormal pode ser evitada através de um projeto correto e por uma manutenção preventiva eficiente. No caso da ocorrência de uma condição anormal, ela pode ser rapidamente consertada. Sob condições bem controladas, a condição anormal é um evento pouco freqüente e de curta duração.

1.7. Ventilação

A ventilação é um parâmetro fundamental na classificação de área, servindo até como meio de desclassificar uma área perigosa. As definições apresentadas na norma NBR 8370 são:

Ambiente adequadamente ventilado

Sala, prédio ou invólucro de equipamento que possui ventilação natural ou artificial.

Ambiente com ventilação natural

Ambiente que não possui nenhum obstáculo ao movimento do ar. São considerados ambientes com ventilação natural:

1. ambiente aberto para o meio externo em todas as direções
2. ambiente protegido por telhado, parede ou tela e com área livre, sem fechamento nas paredes laterais ou superiores, maior ou igual a 60% da área obtida multiplicando-se o perímetro (em metros) do ambiente por 2,5. No caso de gases ou vapores mais pesados que o ar, as áreas livres devem abranger as partes inferiores e para gases mais leves que o ar, as partes superiores.

Ambiente com ventilação limitada

Ambiente que possui obstáculos que dificultam, porém não impedem a circulação natural do ar.

Ambiente com ventilação impedida

Ambiente com ausência de movimentação do ar e como conseqüência, existe a probabilidade de acúmulo de gases ou vapores inflamáveis.

Ambiente com ventilação artificial

Ambiente com sistema artificial de insuflamento de ar para evitar a formação de mistura inflamável. O sistema artificial de insuflamento deve ser capaz de efetuar, no mínimo, 12 trocas de ar por hora ou capaz de fornecer um fluxo de ar de 0,46 m^3/min por m^2 de área de piso do ambiente considerado, o que for maior, nas condições de pressão atmosférica e temperatura entre -10 e 40 ^oC.

1.8. Densidade

A densidade absoluta é expressa como a relação entre a massa e o volume de uma substância, a uma determinada pressão e temperatura. É comum se tomar a densidade relativa dos líquidos em relação à da água e a densidade relativa dos gases em relação à do ar, nas mesmas condições de pressão e

temperatura. As densidades da água e do ar são consideradas iguais a 1,0.

Pela norma **NBR 8370**, tem-se

Gás mais pesado que o ar é o com densidade relativa igual ou maior que 1,1.

Gás mais leve que o ar é aquele com densidade relativa igual ou menor que 0,75

Gás com mesma densidade que a do ar tem densidade relativa entre 0,75 e 1,1.

2. Área Perigosa

2.1. Avaliação do risco

Em plantas onde gases, vapores, líquidos ou pós inflamáveis estão presentes, podem-se formar atmosferas inflamáveis, quando eles forem liberados. Pode existir também uma atmosfera inflamável dentro do equipamento da planta se ar ou oxigênio estiver presente junto com um material inflamável.

No projeto e *layout* da planta e de seus equipamentos associados, é uma premissa fundamental se evitar, sempre que possível, a criação de atmosfera inflamável. Quando não for possível a ausência completa desta atmosfera, deve-se empregar métodos de proteção ou salvaguarda nos equipamentos elétricos para reduzir, a proporções aceitáveis, a probabilidade da ocorrência da atmosfera inflamável.

Para se ter uma ignição, deve-se ter simultaneamente uma atmosfera inflamável e uma fonte de ignição. Uma probabilidade reduzida da existência de um destes fatores permite uma probabilidade maior do outro, sem aumentar o risco final. Porém, na ausência de dados suficientes para a avaliação quantitativa destas probabilidades, o julgamento baseado na experiência deve ser aplicado na seleção dos métodos apropriados de salvaguarda a ser usado em dada situação.

O primeiro passo neste julgamento é a classificação da planta em zonas em que a probabilidade da existência da atmosfera é grosseiramente assumida. Este procedimento, conhecido como classificação de área, será tratado aqui.

2.2. O que a área perigosa não é

Para se entender o que seja uma área perigosa, é interessante entender primeiro o que ela não é.

A simples presença ou probabilidade da presença de um material combustível ou inflamável não classifica automaticamente um local como área perigosa. Por exemplo, a cozinha residencial que possui um fogão a gás natural de petróleo poderia ser classificada como um local perigoso, pois pode haver vazamento através das conexões, as válvulas de bloqueio podem falhar e realmente há vários casos de vazamentos e de falhas de válvulas, resultando até em explosões mortíferas. Porém, o número de tais ocorrências é muitíssimo pequeno, quando comparado com o número de residências com fogão a gás. Em adição, a ignição da mistura inflamável gás + ar é usualmente provocada por uma fonte não elétrica, como fósforo, cigarro, acendedor do fogão. Deste modo, a cozinha com um fogão a gás *NÃO* é classificada como área perigosa, porque a retirada de equipamento elétrico do local reduziria muito pouco a probabilidade de haver acidentes catastróficos.

A presença de materiais pirofóricos (materiais que entram em ignição espontânea em contato com o ar), tais como o fósforo, pó de zircônio, solução de alquila alumínio e a presença de explosivos, como a dinamite, não significam que uma área deva ser classificada como perigosa. Onde há um material pirofórico, o perigo de haver uma explosão provocada por uma fonte elétrica é muito pequeno, quando comparado com o perigo de haver explosão provocada por outra fonte diferente de energia. As normas que regulam estas áreas incluem as exigências referentes aos dispositivos elétricos presentes.

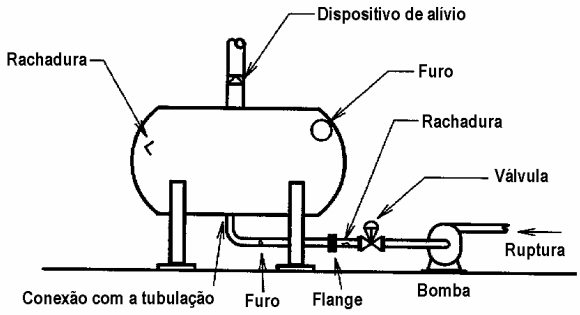


Fig. 3.2. Vazamentos potenciais no processo

2.3. O que área perigosa é

Locais perigosos são aqueles locais, áreas, espaços onde pode existir perigo de explosão, devido a gases ou vapores inflamáveis, líquidos inflamáveis, pós combustíveis ou fibras inflamáveis. De um modo geral, diz-se que uma área industrial é perigosa quando nesse local é processado, armazenado, transportado e manuseado material que possua vapores, gases, pós ou fibras inflamáveis ou explosivos.

As áreas perigosas (classificadas), se tratadas corretamente, não são necessariamente mais perigosas para trabalhar do que as áreas seguras. No Brasil, muito mais pessoas são mortas no tráfico e em acidentes industriais genéricos do que em acidentes com explosões em áreas perigosas. As áreas perigosas não são necessariamente perigosas para a saúde, se são tomadas precauções corretas, embora a maioria dos materiais (exceto hidrogênio e metano) seja perigosa para a saúde, se liberados na atmosfera em concentrações suficientes.

Na prática, em muitas normas e no presente trabalho, *área perigosa, área de risco* e *área classificada* possuem o mesmo significado. Também são intercambiáveis os termos *área, local* e *espaço*. Sempre que o termo for usado, deve-se assumir um espaço tridimensional e não uma área bidimensional.

A possível presença de uma mistura inflamável gás e ar requer a tomada de precauções especiais para reduzir a probabilidade que qualquer equipamento elétrico colocado no local se torne uma fonte de ignição ou de explosão. Como isso é muito vago e pouco operacional, normalmente, se classifica uma área perigosa considerando-se todos os parâmetros que estão relacionados com o grau de perigo presente.

2.4. Área Não Perigosa

Por inferência, qualquer local que não seja área perigosa, é uma área segura. Muitas autoridades preferem o uso de *área não perigosa* por razões semânticas e legais. Nas áreas não-perigosas podem ser usados instrumentos elétricos de uso geral, sem nenhuma técnica adicional ou especial de segurança.

Numa indústria, são consideradas áreas seguras:

- sistemas fechados, mas sem nenhuma probabilidade de haver vazamentos, mesmo que não haja ventilação forçada,
- sistemas fechados, mesmo com tubulações com válvulas, flanges e medidores, desde que seguramente exista ventilação positiva.
- áreas para armazenamento em vasos seguros (conforme normas aprovadas, NB-98).
- áreas onde há outras fontes de ignição permanentes não elétricas, que não sejam queimadores ultra-rápidos, como chaminés, maçaricos e tochas.
- Áreas em que tubos ou dutos contendo pós inflamáveis são instalados sem juntas ou com juntas fortes projetadas para não vazar, desde que o risco de danos seja desprezível.

A sala de controle do processo deve ser considerada área segura, mesmo quando situada dentro de áreas classificadas. Para ser considerada não perigosa, devem ser satisfeitas as seguintes exigências:

- Pressurização na sala através de compressor de ar limpo, localizado em área segura ou com tomada especial,
- vedação nas portas e nas janelas,
- selos em todos os cabos e conduítes que se comunicam com as áreas classificadas,
- controle nas entradas e saídas de ar,
- ventilação e temperatura adequadas.

Há ainda uma confusão semântica acerca do termo não classificada. Uma área perigosa, antes de ser classificada, pode ser chamada de não classificada. Depois, da classificação, ela pode ser considerada perigosa ou classificada. Quando ela é classificada como segura é também chamada de não-perigosa ou não-classificada.

3. Classe, Grupo, Zona

A classificação de área é uma das exigências básicas para a operação do sistema e a classificação adequada da área perigosa é um requisito legal. Na prática, a classificação de área é o elo mais fraco na cadeia da segurança.

Os critérios de classificação das áreas da planta são:

1. a natureza da atmosfera perigosa,
2. a probabilidade da presença desta atmosfera.

A classificação de áreas perigosas pode diferir de um pais para outro, mas na essência se obtém o mesmo resultado. Classificar uma área é lhe atribuir números e letras relacionados com os seguintes parâmetros:

1. classe,
2. grupo,
3. zona.

A partir da classificação das áreas de uma planta, especifica-se e usa-se o equipamento com classificação elétrica coerente, tornando a sua presença no local segura e simples para a avaliação do especialista. Os critérios de classificação do equipamento são a máxima energia da faísca que ele pode produzir e a temperatura máxima de sua superfície.

3.1. Classe

A classe da área se relaciona com o estado físico da substancia inflamável. A classe denota a natureza genérica do material perigoso e está relacionada com a apresentação física do material.

São aceitas e definidas três classes distintas:

1. Classe I - locais onde há gases ou vapores na presença com o ar em quantidades suficientes para produzir misturas explosivas e inflamáveis.
2. Classe II - locais onde o perigo é devido à presença de pó combustível.
3. Classe III- locais onde estão presentes fibras e partículas sólidas.

Classe I

Os locais de classe I envolvem gases e vapores de líquidos voláteis inflamáveis.

É geralmente aceito que o perigo apresentado pelo gás é maior que o do pó e fibra e requer a proteção mais rigorosa. Por isso, quando de se tem um local com a presença simultânea de gás e pó ou gás e fibras sólidas, basta aplicar a proteção para o gás. Não faz sentido classificar um local por causa da presença de líquido não volátil, porém, classifica-se a área vizinha ao armazenamento de líquido volátil, cujo gás é inflamável ou explosivo. O que torna o líquido perigoso são os seus vapores e gases.

Os materiais não precisam estar no estado gasoso para ocorrer uma explosão. Pode haver explosão com pó combustível e líquidos finamente atomizados queimam com extrema rapidez, mesmo à temperatura abaixo do ponto de fulgor.

Classe II

Locais de Classe II como aqueles que são perigosos por causa da presença de pó combustível. A intenção é evitar explosões e fogos por causa da presença do pó.

Há pó combustível presente em pequenas quantidades em quase todos os locais. A maioria dos pós orgânicos é combustível. Assim, os locais onde se manipulam papeis, tecidos, carpetes e tapetes são tecnicamente capazes de criar uma explosão. Em tais locais, porém, a quantidade de pó presente, mesmo se todo ele fosse lançado em suspensão no ar ao mesmo tempo, é insuficiente para causar uma explosão. É necessária uma concentração mínima de pó antes que uma chama se propague do seu ponto de ignição. Somente os locais onde há grande quantidade de pós são classificados como Classe II.

É raro em refinarias de petróleo o manuseio de pó. As aplicações típicas de sistemas de segurança relacionados com pós perigosos (Classe II) estão na área de siderurgia, mineração de carvão e indústrias de artefatos de pneu e nos ensacamentos de pós petroquímicos.

As características de ignição de pó são mais facilmente entendidas, quando comparadas às da queima de gases e vapores. As diferenças básicas entre explosões de pós e de gases são devidas às diferenças físicas dos materiais combustíveis:

1. Em geral, as nuvens de pó possuem energia mínima de ignição cerca de 10 a 20 vezes maior que aquelas da Classe I, Grupo D; com exceção dos pós metálicos, como alumínio e magnésio.
2. Classe II possui menor limite mínimo explosivo, porém o seu limite superior é muito elevado.
3. os gases e os vapores são uniformes; os pós não são partículas uniformes, nem no tamanho e nem na distribuição.
4. os pós podem se acumular e não se dissiparem, se localizados desigualmente. Por isso são freqüentes explosões múltiplas de pós perigosos.
5. as características de ignição dos pós dependem do tamanho, formato, conteúdo de umidade, conteúdo de voláteis e da concentração.

Classe III

Local de Classe III aquele que é perigoso por causa da presença de fibras que entram facilmente em ignição mas em que tais fibras não são prováveis de estar em suspensão no

ar em quantidades suficientes para produzir misturas inflamáveis.

Não há subdivisão de Grupo na Classe III. O agrupamento dos materiais em Classes I e II é usado para separar materiais com características de ignição que sejam facilmente afetadas pela construção do equipamento elétrico. Não há tal condição em locais de Classe III. As fibras são suficientemente grandes para penetrar em juntas flangeadas e não são eletricamente condutoras.

Os materiais típicos são: algodão, *rayon*, sisal, juta, fibra de coca, serragem de madeira (embora o pó de madeira também seja Classe II).

O principal perigo dos materiais da Classe III não é a explosão, mas o perigo de incêndio. As fibras entram em ignição facilmente e se queimam rapidamente.

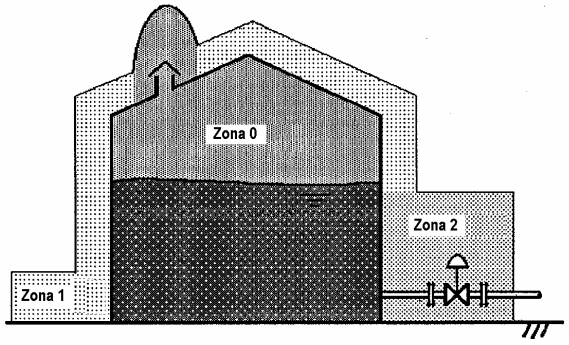


Fig. 3.3. Exemplo simplificado das áreas de risco

3.2. Grupo

A designação do grupo é mais específica e constitui uma subdivisão da classe. O grupo, associado a classe, é uma especificação de natureza química.

Até a publicação da edição de 1937 do NEC, a Classe I das áreas perigosas não era dividida em grupos. Todos os gases e vapores inflamáveis eram classificados como um único grau de perigo. Foi reconhecido, porém, que os graus de perigo variavam e que o equipamento conveniente somente para o uso onde a gasolina era manipulada não era adequado para uso onde o hidrogênio ou acetileno eram manipulados.

Foi também verificado que a fabricação de equipamentos e invólucros para uso em atmosferas de hidrogênio era muito difícil e mesmo que se fabricasse o equipamento, ele era muito caro. Assim, não era lógico, sob o ponto de vista de engenharia, exigir que o equipamento à prova de explosão para uso em local com vapores de gasolina também fosse seguro para uso em atmosfera de hidrogênio. Esta não necessidade aumentaria os custos do equipamento e poderia tornar impossível a construção de alguns tipos de equipamentos. Até hoje, por exemplo, não há motores classificados para uso em atmosferas de acetileno e de hidrogênio.

A solução foi dividir os locais perigosos de Classe I em grupos, com cada grupo contendo materiais com características iguais relacionadas com a explosão. Isto permitiu a construção de equipamentos que não fossem mais caros que o necessário para sua aplicação específica. Como mau resultado, isto impede que um equipamento apropriado para um determinado local perigoso (por exemplo, em atmosfera de gasolina) possa ser usado em outro local perigoso (por exemplo, em atmosfera de hidrogênio).

Os grupos são selecionados através de três critérios:

1. máximo espaçamento seguro experimental (MESG - *maximum experimental safe gap*)
2. pressão final de explosão,
3. temperatura de ignição.

O agrupamento dos materiais é usualmente especificado em normas e códigos. As normas americanas diferem levemente das européias.

O NEC estabelece o seguinte:

1. Classe I possui os Grupos A, B, C e D.
2. Classe II possui os Grupos E, F e G.
3. Classe III não possui grupo associado.

No sistema europeu os grupos são diferentes:

1. Grupo I: minas subterrâneas, onde pode haver gases. Assume-se, na prática que o perigo é causado pelo gás metano.
2. Grupo II: locais de superfície, onde os materiais são indicados pelos sufixos A, B e C.

   IIC similar ao NEC Grupo A e B
   IIB similar ao NEC Grupo C.
   IIA similar ao NEC Grupo D.

Tab. 3.1. Comparação dos Grupos de Gases Europa (IEC) e EUA (NEC)

Gás Típico	Grupo (EUA)	Grupo (Europa)
Metano	D	I
Propano	D	IIA
Etileno	C	IIB
Hidrogênio	B	IIC
Acetileno	A	(IIC)

Com relação a classificação do NEC e da IEC e dentro da Classe I, o perigo maior se refere ao grupo IIC ou A e o menor se relaciona com o grupo IIA ou D. Como conseqüência, um instrumento classificado para uso em grupo IIC (A e B) pode ser usado nos grupos IIB e IIA (C e D) e um equipamento para o grupo IIB (C) pode ser usado em local de grupo IIA (D) mas *não* pode ser usado nos grupos IIC (B e A).

Uma questão que se coloca freqüentemente é: como classificar uma área contendo um material desconhecido e não listado ou desconhecido? Há várias publicações da NFPA com listas de produtos:

NFPA 49 que fornece as informações relacionadas com os perigos de explosão e fogo, perigo de vida, proteção pessoal e combate a incêndio.

NFPA 325 inclui informação acerca do ponto de fulgor, temperatura de ignição, limites de inflamabilidade, densidade do vapor, densidade relativa, ponto de ebulição, métodos de extinguir o fogo e a identificação do perigo.

NFPA 497 informa a identificação dos grupos e a temperatura de ignição.

3.3. MESG (Máximo Espaçamento Seguro Experimental)

A ignição de uma atmosfera inflamável pode ser evitada pela separação entre a atmosfera inflamável não queimada e a fonte de ignição por uma tela ou material perfurado com aberturas muito pequenas. Este princípio foi usado em operação nas minas, onde o gás metano é um perigo constante. Os mineiros portam lanternas, em que a fonte de iluminação é uma chama, em atmosferas com gases inflamáveis. A chama não causa ignição da mistura gasosa circundante por que ela é cercada por uma tela metálica fina. Este é o princípio da lâmpada de Davy, inventada em 1815, por Humphry Davy. Esta lâmpada serve também para detectar a presença de uma atmosfera inflamável, pois o gás dentro da lâmpada próxima da chama entra em ignição, criando uma chama mais alongada quando há metano.

Foram feitas pesquisas para determinar a dimensão da máxima abertura que impedisse a propagação da chama de um lado para outro, tendo-se uma mistura perigosa de um lado e uma fonte de ignição de outro. Este princípio foi usado, quando se introduziu a eletricidade dentro das minas, em invólucros de equipamentos elétricos, como motores, comutadores e chaves, de modo que as aberturas nos invólucros para os eixos rotativos dos motores fossem pequenas. Deste modo, pequenas aberturas entre as superfícies apresentam uma trajetória que impede a propagação de uma explosão do interior para fora, mesmo que haja mistura perigosa próxima do invólucro.

Esta trajetória, conhecida como caminho da chama, foi sujeita a muita pesquisa, no esforço para determinar como ela pode ser determinada, baseando-se nas propriedades químicas e de combustão do material inflamável envolvido. Paralelamente, vários métodos diferentes foram desenvolvidos para determinar este espaçamento seguro entre superfícies para testes de explosões. Este intervalo assim determinado é conhecido como MESG (*maximum experimental safe gap*).

No invólucro à prova de explosão é assumido que a mistura inflamável entre no interior do invólucro, através de folgas entre eixos e outras aberturas. Além do invólucro robusto suportar a provável explosão interna (prova de explosão), ele esfria a chama ou os gases quentes que vão para a atmosfera perigosa externa para uma temperatura segura (prova de chama). Além deste processo de resfriamento, há outros fenômenos de mistura e ejeção em alta velocidade. Estes processos complicados tornam difícil a determinação do MESG para um determinado material inflamável. Na determinação do MESG devem ser considerados os seguintes parâmetros:

1. tamanho e formato do espaçamento,
2. pressão forçando a ejeção do material,
3. duração da ejeção dos gases quentes,
4. temperatura do gás quente ejetados
5. grau de turbulência,
6. condutividade termal da mistura.

A pressão forçando o jato para fora do invólucro através do espaçamento está relacionada com a composição da mistura queimando no interior do invólucro, formato do invólucro, volume do material, ponto e energia de ignição dentro do invólucro.

A duração se relaciona com o volume do material e sua taxa de queima.

O formato do jato dos gases quentes se relaciona com a configuração da junta nas condições de explosão. O equipamento de teste projetado para determinar o MESG é construído de modo que o formato do espaçamento e a distância entre as superfícies de encaixe não se alterem como resultado da explosão. Esta condição é improvável de se ter, na prática. Mesmo invólucros pesados de ferro fundido com juntas planas aparafusadas alteram a forma durante o processo dinâmico de uma explosão dentro do invólucro.

Tab. 3.2. - Grupos da Classe I

Grupo A ou Grupo IIC (1 gás)

1. Acetileno

Grupo B ou Grupo IIC (6 gases)

1. Acrolein (inibido)
2. Butadieno
3. Hidrogênio
4. Gases com >30% de H_2 (por volume)
5. Óxido de propileno
6. Óxido de etileno

Grupo C ou Grupo IIB (16 gases)

1. acetaldeido
2. álcool alquil
3. n-butil-aldeildo
4. ciclopropano
5. croto-aldeido
6. di-etil-amina
7. dimetil hidrazine assimétrico
8. epiclorohidrin
9. éter dietil
10. etilenimina
11. etileno
12. monóxido de carbono
13. morfoline
14. 2-nitropropano
15. sulfeto de hidrogênio
16. tetrahidrofuran

Grupo D ou Grupo IIA (44 gases)

1. acido acético (glacial)
2. acetato etil
3. acetato vinil
4. n-acetato butil
5. acetato isobutil
6. acetona
7. acrilato etil
8. acrilonitrila
9. amônia
10. benzeno
11. butano
12. 1-butanol (álcool butílico)
13. 2-butanol (álcool butílico secundário)
14. cloreto vinil
15. diamina etileno
16. dicloro etileno
17. di-isobutileno
18. estireno
19. etano
20. etanol (álcool etílico)
21. éter isopropílico
22. gasolina
23. heptano
24. hexano
25. isopreno
26. metano
27. metanol
28. metil etil cetona
29. metil isobutil cetona
30. 3-metil-1-butanol (álcool isoamil)
31. 2-metil-1-propanol (álcool isobutil)
32. 2-metil-2-propanol (álcool butil terciário)
33. nafta de petróleo
34. octanos
35. óxido mesitil
36. pentanos
37. pentanol
38. piridine
39. propano
40. 1-propanol
41. 2-propanol
42. propileno
43. tolueno
44. xileno

Quanto maior a pressão para um dado invólucro, maior é o espaçamento entre os parafusos. Assim, mesmo que o espaçamento seja menor que o MESG medido com um apalpador, ele pode ser muito maior nas condições reais de explosão e permitir assim a propagação da explosão de dentro do invólucro para o exterior.

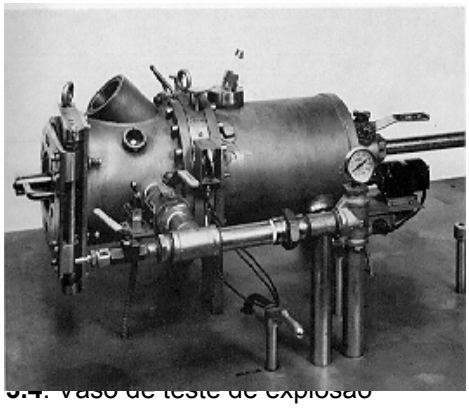


Fig. 3.4: Vaso de teste de explosão Westerberg (UL)

O método usado para classificação de materiais de Classe I em grupos pelo NEC e NFPA é o desenvolvido pelo Underwriter Laboratories Inc. e descrito, em detalhes, na procedimento UL 58. O equipamento é conhecido como o Vaso de Teste de Explosão de Westerberg.

Pressão da Explosão

Depois das tentativas de classificação, ela é revista ainda, baseando-se nas pressões de explosão registradas.

Em geral, verifica-se experimentalmente que os materiais tem maiores pressões de explosão e menores MESG's em condições turbulentas de teste do que sob condições quiescentes. Também se verifica que o MESG é geralmente menor com a ignição próxima ao espaçamento e que a pressão de explosão é muito maior com a ignição no fim do comprimento da tubulação.

Este fenômeno de maior pressão de explosão com um comprimento de tubo, representando um conduíte rígido, é conhecido como propagação de pressão (*pressure piling*). Ela pode ser atribuída à pre-pressurização da mistura não queimada adiante da frente de onda da chama móvel, embora isso seja algo muito simplificado.

Alguns materiais exibem a característica de propagação de pressão em grau maior que outros. Estes materiais possuem uma dupla classificação: para uso normal e para uso onde há a possibilidade de haver propagação da pressão (invólucro ligado a conduíte longo). Por exemplo, o butadieno tem um MESG de 0,787 mm, grupo D, para aplicações comuns. Porém, em aplicação com propagação de pressão, ele é classificado como grupo C (mais perigoso).

Outros materiais com dupla classificação são: óxido de etileno, óxido de propileno e acroleína, que pertencem ao grupo C (normal) e grupo B (com propagação de pressão).

Embora o hidrogênio e o acetileno tenham o mesmo MESG, o acetileno produz uma maior pressão de explosão e por isso possui o próprio grupo A. O hidrogênio pertence ao grupo B, (menos perigoso que A).

Temperatura de Ignição

A temperatura de ignição de um gás ou vapor inflamável é crítica na determinação da aceitação do equipamento que opera em temperatura de superfície externa relativamente alta, como em aquecedores e motores. O equipamento à prova de explosão é projetado para conter uma explosão evitar a propagação da explosão para a atmosfera externa. Mas, se a superfície externa do invólucro à prova de explosão está a uma temperatura acima da temperatura de ignição da mistura do gás ou vapor, a superfície externa funciona como uma fonte de ignição em si, eliminando o objetivo de proteção do invólucro.

Altas temperaturas de superfície externa podem ser criada pela operação normal do equipamento elétrico, como uma lâmpada incandescente em uma luminária ou pela operação anormal do equipamento, como a superfície de um motor quando o rotor fica bloqueado ou por causa de uma condição de falha, como o arco voltaico de uma chave.

Por definição, a temperatura de ignição de uma substância, se sólida, líquida ou gasosa, é a temperatura mínima requerida para iniciar ou causar uma combustão auto-sustentada, independente do elemento de aquecimento ou aquecido. Ele é também chamada, mais corretamente, de temperatura de auto-ignição ou temperatura de ignição aparente (NFPA 325M).

As temperaturas de ignição observadas em um conjunto de condições podem variar muito, em função de mudança das condições, incluindo o método de teste. Por isso, a temperatura de ignição deve ser usada somente como aproximação. Algumas das variáveis que afetam as temperaturas de ignição são:

1. percentagem da composição da mistura gás - ar ou vapor - ar,
2. formato e tamanho do espaço onde ocorre a ignição,
3. taxa e duração do aquecimento,
4. tipo e temperatura da fonte de ignição,
5. efeito catalítico dos materiais presentes,
6. concentração de oxigênio.

A maioria dos dados encontrados nas várias publicações para a determinação da temperatura de ignição foram obtidos do procedimento padrão: **ASTM E659**.

O método do teste envolve um frasco de vidro de boro silicato, aquecido em um invólucro fechado até uma temperatura conhecida. Uma quantidade de material, cuidadosamente medida, é injetada no vaso de teste. Se não ocorrer ignição, a temperatura do vaso é aumentada e o teste é repetido. O teste é também repetido usando-se várias concentrações até se encontrar a mais baixa temperatura de ignição para determinada concentração.

O aumento do volume do vaso de teste normalmente resulta em uma diminuição da temperatura de ignição observada. A mudança do formato do vaso (relação entre superfície e volume) afeta a temperatura observada. O material do vaso também a temperatura de ignição. O vidro de boro-silicato resulta na menor temperatura de ignição.

Como os testes são projetados para aquecer a mistura inflamável inteira em sua concentração mais facilmente ignitável, há um fator de segurança. Na maioria das instalações com equipamentos elétricos, a mistura inflamável será aquecida quando em contato com a superfície quente e a turbulência resultante na superfície impede que a mistura inflamável nunca fique à mesma temperatura da superfície.

Quando a mistura inflamável estiver em uma câmara fechada aquecida, como um forno de secagem, que tem volume muito maior que o do vaso de teste, a ignição pode ocorrer em temperatura menor que a registrada.

Antes de 1971, a temperatura de ignição do material inflamável era parte do processo de classificação do grupo. Os equipamentos projetados para locais de Grupo A, B e D eram limitados a uma temperatura de superfície máxima de 280 ^{o}C. O equipamento para uso em Grupo C era limitado a uma temperatura de superfície externa de 180 ^{o}C, que, na época era a temperatura de ignição do éter etílico. Testes posteriores indicaram uma temperatura de ignição do éter etílico de 160 ^{o}C. Assim, um novo material sendo investigado para classificação e classificado no Grupo D por causa da pressão de explosão e MESG, deve ser classificado no Grupo C se a temperatura de ignição for menor que 280 ^{o}C. Material com temperatura de ignição menor que 180 ^{o}C não precisa ser classificado; por exemplo, o bi-sulfeto de carbono, com temperatura de ignição igual a 90 ^{o}C.

Este problema foi entendido e o NEC, a partir de 1971, deixou de incluir a temperatura de ignição do material como critério de classificação de grupo. Passou-se a ter uma classificação de temperatura do equipamento elétrico, onde a temperatura máxima da superfície de algum componente ou superfície deve ser marcada. Um equipamento elétrico não pode ser usado em um local onde a temperatura de ignição da mistura inflamável seja menor que a sua temperatura da superfície externa.

Grupos da Classe II

As normas do IEC não estabelecem grupo para as classes II e III.

As normas americanas dividiram os locais de Classe II em três grupos. Os critérios para agrupar os gases da Classe I se baseavam na pressão da explosão, temperatura de ignição e espaçamento seguro; os critérios para agrupar os pós da Classe II se baseavam na resistividade elétrica, tamanhos do pó e no efeito termal das camadas de pó nos equipamentos elétricos. Originalmente, o agrupamento dos pós se baseava na temperatura de ignição da camada de pó, mas este conceito está sendo gradualmente abandonado.

Os grupos dos pós, pelas normas americanas, foram estabelecidos pelas condutividades térmica e elétrica dos pós. Deve-se tomar maior cuidado com o pó metálico pois ele é duplamente perigoso: porque é inflamável e combustível e porque é eletricamente condutor.

A Classe II possui os seguintes grupos:

1. Grupo E: atmosferas contendo pó metálico, incluindo alumínio, magnésio e suas ligas e outras metais com características similares de perigo, com resistividade menor ou igual a 10^2 Ω.cm.
2. Grupo F: atmosferas contendo pó de carvão ou negro de fumo, tendo mais de 8% de material volátil ou atmosferas contendo estes pós misturados com outros materiais, tendo resistividade maior do que 10^2 Ω.cm mas igual ou menor do que 10^8 Ω.cm.
3. Grupo G: atmosferas contendo pós agrícolas ou pós químicos e plásticos combustíveis, tendo uma resistividade maior que 10^8 Ω.cm.

Os pós de zircônio, tório e urânio não são classificados como perigosos, porque eles possuem uma baixa temperatura de ignição (cerca de 20 ^{o}C) e muito baixa energia mínima de ignição.

Há dois critérios básicos para classificar um pó em um de seus três grupos: o tipo do material (o mais importante) e a sua resistividade elétrica.

Tradicionalmente, os pós metálicos tem sido classificados no Grupo E, porque apresentam dois problemas:

1. eles são mecanicamente abrasivos. Se eles entram em rolamentos mecânicos, o aquecimento resultante pode provocar ignição na camada de pó do lado externo e se este rolamento é parte de um equipamento elétrico, pode haver ignição ou explosão,
2. eles são eletricamente condutores. Se eles entram em caixas contendo partes descobertas com tensão, eles podem provocar curto circuito entre estas partes, provocando ignição ou explosão.

Os pós agrícolas e de alimentos, a maioria dos pós químicos e os pós plásticos são pouco abrasivos e praticamente são isolantes elétricos.

Os pós do carbono são materiais com resistividade elétrica media. Experiências em minas de carvão mostram que tensões menores de 600 V não apresentam problemas; os problemas ocorrem com tensões acima de 600 V.

Nos locais de Classe II os pós podem estar suspensos no ar em uma nuvem ou em uma camada depositada no equipamento elétrico. Os dados publicados indicam que a temperatura da superfície quente necessária para causar ignição de uma camada de pó é quase sempre menor que a temperatura requerida para queimar uma nuvem de pó.

Tab. 3.3. Grupos da Classe II (Pó)

Grupo E	Pós metálicos: alumínio, magnésio, titânio e suas ligas metálicas
Grupo F	Pós carbonáceos: carbono coloidal, carvão, negro de fumo, coque.
Grupo G	Pós agrícolas: polvilho, fécula, pó de grãos, pós químicos e plásticos.

3.4. Zonas

Na prática, foi estabelecido dividir as áreas perigosas em zonas. Esta classificação considera os diferentes perigos de atmosferas potencialmente perigosas e permite a implementação das medidas de proteção contra explosão que refletem a situação, tanto do ponto de vista do engenheiro de segurança bem como do economista. As definições de zona são uniformemente fornecidas na diretiva 1999/92/EC. Ela deve ser aplicada com o entendimento técnico da situação concreta.

A IEC 60 079 assume uma classificação similar para gases e vapores que também se aplica para facilidades construídas conforme a norma NEC 505 americana. IEC 61 241-3 fornece suporte a classificação de zona para pós.

Zonas com perigo de explosão são classificadas dependendo da freqüência e duração da atmosfera potencialmente explosiva. Esta classificação fornece o escopo da medida a ser tomada de acordo com o anexo II, seção A, na diretiva 1999/92/EC em conjunto com o anexo I da diretiva 94/9/EC.

A zona de uma área expressa a probabilidade relativa do material perigoso estar presente no ar ambiente, formando uma mistura em concentração perigosa e provável de provocar uma explosão ou incêndio. A probabilidade varia de zero (local seguro) até 1 (local onde a presença é certa e contínua, como no interior de um tanque contendo líquido volátil).

De acordo com a probabilidade, em termos de tempo e local, da presença de atmosferas explosivas, áreas perigosas são divididas em Zonas que permitem avaliação diferenciada do perigo da explosão. É responsabilidade das autoridades de segurança do trabalho aplicar as normas apropriadas (EN/IEC 60 079-10). As normas não podem ser aplicadas para pós ou fibras combustíveis, nem para premissas usadas para objetivos médicos.

Desde que as concentrações diminuem com o aumento da distância da fonte de risco, o local da fonte de risco é de maior importante para a classificação de Zona. O termo fonte de risco é entendido como o local em que os gases, vapores e névoas combustíveis e líquidos aparecem ou emergem, ou em que as misturas explosivas podem se formar.

O NEC usa o termo Divisão, equivalente ao termo Zona, usado nas normas internacionais, brasileiras e européias.

Do ponto de vista de engenharia, maiores precauções são necessárias se um particular conjunto de circunstâncias é provável de acontecer, tal como a presença de uma mistura inflamável dentro dos limites de explosividade e

menores precauções são necessárias se é improvável acontecer uma mistura perigosa. Esta é a razão de dividir os locais em duas ou três divisões.

Neste aspecto, as divergências entre as normas americana e européia são maiores. As normas americanas definem duas divisões: Divisão 1 e Divisão 2. As normas brasileiras e européias se referem a três divisões: Zonas 0, 1 e 2.

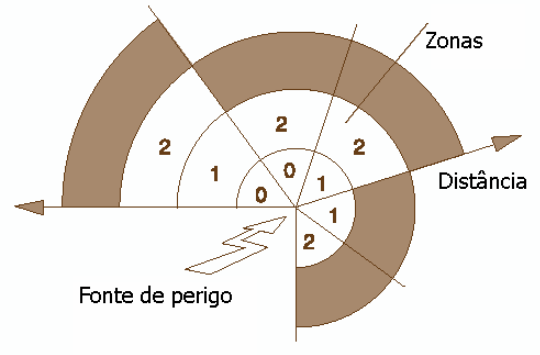


Fig. 3.5. Classificação das zonas

Resumidamente tem-se:

Zona 0 – local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura inflamável de gás, vapor ou nevoa com ar **está presente continuamente**, ou por longos períodos ou freqüentemente.

Zona 1 – local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura inflamável de gás, vapor ou nevoa com ar **é provável ocorrer** em operação normal ocasionalmente.

Zona 2 – local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura inflamável de gás, vapor ou nevoa com ar **não é provável ocorrer** em operação normal, mas se ocorrer, persistirá por um período curto de tempo somente.

Zona 20 – local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar **está presente continuamente**, ou por longos períodos ou freqüentemente.

Zona 21 – local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar **é provável de ocorrer**, em operação normal ocasionalmente.

Zona 22 – local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar **não é provável de ocorrer**, em operação normal mas, se ocorrer, ela persistirá apenas por um curto período.

Camadas, depósitos de combustíveis devem ser considerados como qualquer outra fonte que pode formar uma atmosfera explosiva.

Operação normal significa a situação quando a instalação está usada dentro de seus parâmetros de projeto.

Nos locais de trabalho as áreas com perigo de explosão são normalmente classificadas, na maioria, como zona 1 e 2 ou zonas 21 e 22. Zonas 0 e 20 são restritas a áreas inacessíveis muito pequenas em locais de trabalho ou são usualmente atribuídas ao interior do equipamento técnico ou tanques.

Zona 0

Zona 0 é definida como o local onde a presença da mistura perigosa é constante, contínua ou presente por longos períodos. A probabilidade de ocorrência de atmosfera perigosa em Zona 0 é igual a 100%, ou na forma normalizada, igual a 1.

Exemplos de Zona 0 são

1. interior de um tanque cheio de gás
2. espaço cheio de vapor dentro de um tanque com líquido volátil.
3. espaços dentro de equipamentos como sistemas de esteira de pó, e filtros contendo pó inflamável.

O principal argumento a favor do uso da Zona 0 é que se deve tomar precauções especiais em lugares onde a probabilidade de perigo é constantemente elevada. As normas americanas não aceitavam o conceito de Zona 0. O maior argumento contra o uso da Zona 0 é a falta de demonstração prática da utilidade dessa nova divisão, que complica ainda mais o já difícil problema de diferenciar Divisão 1 da Divisão 2.

Área de zona 0 é o local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura com ar de substancias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa está presente continuamente ou por longos períodos ou freqüentemente. Exigências especiais relativas ao projeto, teste ou marcação de dispositivo elétrico do Equipamento Grupo II, Categoria 1G estão especificadas na norma EN 50 284 e IEC 60 079-26.

Zona 1

Local onde é alta a probabilidade relativa de ocorrer alguma das seguintes situações:

1. concentração perigosa existe continuamente, intermitentemente ou periodicamente, em condições normais de operação.

2. concentração perigosa existe freqüentemente, por causa de operações de reparo e manutenção.
3. concentração perigosa existe por causa de vazamentos freqüentes.
4. falha do equipamento ou do processo ocorre freqüentemente e provoca simultaneamente desprendimento de concentração perigosa dos gases e defeitos elétricos.

Todas as situações se referem a concentração perigosa de gases, significando que esta concentração se situa entre os limites mínimo e máximo de explosividade ou inflamabilidade.

Na Zona 1 é provável haver a presença de gases inflamáveis mesmo durante a operação normal da planta. A probabilidade da presença de uma atmosfera perigosa na Zona 1 é relativamente elevada e, na prática, é considerada igual a 1. A zona 1 é a área de maior perigo, pela classificação das normas americanas.

Uma concentração de pó inflamável acima do limite mínimo inflamável deve formar uma atmosfera através da qual é difícil enxergar e na qual é quase impossível de se trabalhar. Em operação normal, tal situação é pouco provável de acontecer em grandes áreas da planta. Mesmo assim, há certas operações manuais e mecânicas, que necessitam ser identificadas positivamente, que podem formar uma atmosfera inflamável local mas é pouco provável que ela se espalhe por mais de um metro além da área imediata. Em plantas manipulando pós inflamáveis, portanto, a classificação de Zona 1 se aplica somente para pequenas áreas. Porém, em uma sala que contém vários locais de Zona 1, é recomendável classificar toda a sala como Zona 1.

Exemplos típicos de Zona 1 são as áreas de ensacamento e esvaziamento e equipamento de manipulação de pós, dos quais pode ocorrer liberação de produtos em condição normal em quantidade suficiente para produzir uma nuvem de pó inflamável. Outro exemplo é o espaço dentro de um container onde uma nuvem de pó inflamável pode existir periodicamente.

Área de zona 1 é o local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura com ar de substancias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa é provável de ocorrer em operação normal ocasionalmente. Esta Zona é a área de aplicação clássica para equipamento à prova de explosão. As exigências a serem satisfeitas pelo Equipamento estão especificadas na norma EN 50 014 a EN 50 020 e EN 50 039, bem como na IEC 60 079-0, -1, -2, -7, -11, -18 e -25.

Zona 2

Zona 2 é o local onde uma atmosfera inflamável não é provável de ocorrer em operação normal e, se ocorrer, é somente por pouco tempo. Local onde é baixa, porém não nula, a probabilidade de existência de misturas de produtos explosivos ou inflamáveis com o ar ambiente. Mais detalhadamente definem-se como zona 2:

1. os locais perigosos onde líquidos voláteis e gases inflamáveis são manipulados, usados ou transportados, porém estão confinados em sistema fechados e dos quais podem escapar somente em caso da ruptura ou quebra acidental dos sistemas ou em caso da operação anormal do equipamento.
2. locais que não são considerados perigosos porque e quando há ventilação forçada, mas há a probabilidade de falha de equipamento de ventilação tornando o local perigoso.
3. as áreas adjacentes a zona 1, sem ventilação positiva e com garantia que não há falha no sistema de ventilação.

A área de zona 2 é perigosa apenas em situações anormais da planta, quando há acidentes, falhas de equipamentos, vazamentos de tanques, ruptura de discos, corrosão entre flanges.

A zona 2 pode ser a área que separa a zona 1 de áreas seguras. A zona 2 é uma área mais segura que a zona 1, porém, é ainda um local perigoso, classificado. A probabilidade de ocorrer condições de perigo é pequena, quando comparada a probabilidade da zona 1, porém não é zero.

Outra característica da zona 2 é a curta duração da presença do gás perigoso, que já é pouco provável.

Tipicamente, em uma planta petroquímica e refinaria de petróleo, 90% das áreas classificadas são zona 2.

Exemplos típicos de zona 2 são as áreas em torno de equipamento que manipule pó e do qual é pouco provável de haver liberação de pó durante a operação normal do equipamento da planta e áreas em torno daquelas classificadas como Zona 1 onde há uma probabilidade de liberação anormal de pó inflamável estendendo além do limite do local de Zona 1.

Área de zona 2 é o local em que uma atmosfera explosiva consistindo de uma mistura com ar de substancias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa não é provável de ocorrer em operação normal, mas, se

ocorrer, irá persistir somente por um curto período de tempo. Como uma regra “para um curto período de tempo apenas” significa até 2 horas. As exigências a estão especificadas em duas normas EN 50 021 e IEC 60 079-15. Deve-se lembrar, porém, que as exigências fundamentais, tais como eletricidade estática, teses de impacto e verificação de dissipação de potência também devem ser satisfeitas.

Zona 20

Equipamento para Zona 20 deve ser especialmente aprovado para esta tarefa. A norma EN 50 281-1-1 inclui provisões cobrindo a construção de equipamento para esta Zona onde a proteção é fornecida pelo invólucro em que ele é alojado.

Normas suplementares, tais como as que cobrem segurança intrínseca, irão aparecer mais tarde na IEC 60 241-11. Equipamento para Zona 20 deve estar de conformidade com a Categoria 1D.

Zona 21

Áreas típicas de Zona 21 são moinhos de farinha, carvão ou silos de cereais e a área em torno de linhas de enchimento de embalagem. Vazamento ocasional de pó, por exemplo, pode formar nuvens de pó explosivo nestas áreas. Além disso, a atribuição do risco freqüentemente subestima os perigos de depósitos de pó em superfícies.

Equipamento para Zona 21 deve estar de conformidade com a Categoria 2D.

Zona 22

Em Zona 22, nuvens explosivas de pó não são prováveis de ocorrer durante operação normal. Atmosferas explosivas causadas por pó turbulento são somente esperadas de ocorrer no caso de defeitos. Equipamento para Zona 22 deve estar de conformidade com Categoria 3D. Onde pós condutores eletricamente são envolvidos, a norma EN 50 281-1-2 especifica que o equipamento de Categoria 2D deve ser usado.

3.5. Enfoque Quantitativo

Pelo fato de não serem quantificáveis, as expressões *frequentemente*, *periodicamente*, *muito provável*, *pouco provável* e outras semelhantes, são aceitas com pouca satisfação. Elas parecem vagas e de pouca confiabilidade. Há uma tendência de se adotar números para a classificação das áreas perigosas.
Há, por exemplo, a seguinte proposição:

Local	Probabilidade	Horas/Ano
Zona 0	0,1 a 1,0	Acima de 1000
Zona 1	0,001 a 0,1	10 a 1000
Zona 2	0,000 01 a 0,001	0,1 a 10
Seguro	Menor que 0,000 01	Menor que 0,1

Sugestões mais tolerantes seriam:

Local	Probabilidade	Horas/Ano
Zona 0	Maior que 0,01	Acima de 100
Zona 1	0,001 a 0,01	10 a 100
Zona 2	0,0001 a 0,001	1 a 10
Seguro	Menor que 0,0001	Menor que 1

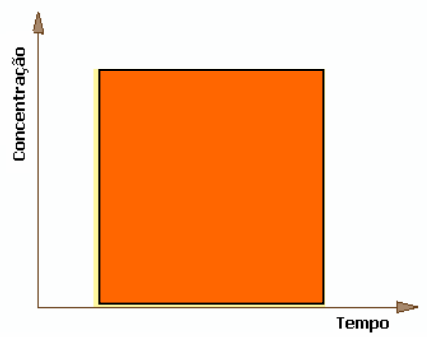


Fig. 3.6. Zona 0

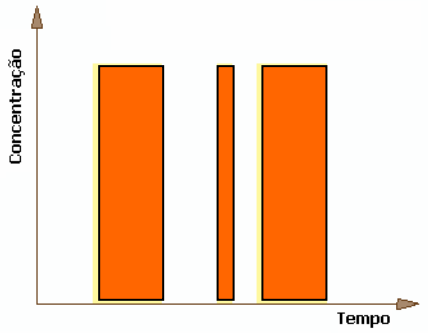


Fig. 3.7. Zona 1

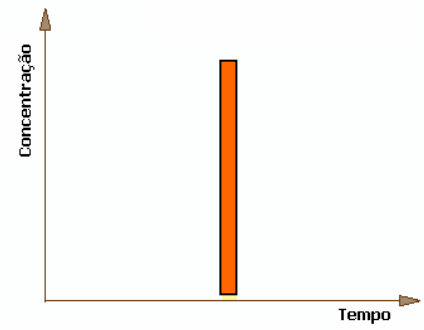


Fig. 3.8. Zona 2

Teoricamente esse procedimento de atribuir números a classificação de áreas parece mais operacional e exato, mas, na prática, é também vago. Inicialmente, nem há consenso de qual número é aceitável e seguro. Depois, o número é pouco significativo e difícil de ser determinado experimentalmente ou teoricamente. E finalmente, o número não é crucial. Em segurança industrial o importante é se conseguir uma uniformidade de entendimento na designação da zona, depois de se ter assimilado os conceitos fundamentais da classificação e das técnicas alternativas de proteção.

3.6. Classes de Temperatura

Há uma correlação entre a energia e a temperatura. Por exemplo, a energia pode ser tirada de uma superfície. Uma superfície aquecida aumenta o conteúdo da energia de uma mistura potencialmente explosiva em contato com ela. Se a temperatura da superfície é muito alta, este alto conteúdo de energia pode iniciar uma reação explosiva.

Para o uso comercial de equipamento com proteção contra explosão, as máximas temperaturas de sua superfície devem ser conhecidas e são estabelecidas classes de temperatura.

O equipamento elétrico deve ser projetado para uso em uma faixa de temperatura ambiente de -20 a +40 ^{o}C e neste caso nenhuma marcação adicional é necessária. Se o equipamento elétrico é projetado para uso em uma faixa de temperatura diferente, isto é considerado como projeto especial. A faixa de temperatura ambiente deve ser especificada pelo fabricante e estabelecida no certificado. A marcação deve então conter a faixa de temperatura ambiente especial ou, se isso não for possível, a letra “X”.

Conforme a Diretiva 94/9/EC (ATEX 95), as classes de temperatura também se aplicam a equipamento não elétrico. Tubulação com temperaturas de superfície acima das atribuídas à classe de temperatura (vapor e outros meios de aquecimento) podem representar justamente um sério risco como a superfície quente do equipamento elétrico.

Há seis classes de temperatura, de T1 a T6. A classe de temperatura T1 tem a temperatura de superfície permissível mais alta e a classe de temperatura T6, a mais baixa. Equipamentos elétricos de conformidade com as classes de temperatura mais altas (e.g., T5) podem também ser usados para aplicações em que uma classe de temperatura mais baixa é requerida (por exemplo, T2 e T3).

Classe de Temperatura T1

Misturas com uma temperatura de ignição de t > 450 ^{o}C e uma temperatura de superfície máxima de 450 ^{o}C. T1 inclui as substâncias: propano, monóxido de carbono, amônia, acetona, estireno, acido acético, benzeno, metano, tolueno, hidrogênio e gás natural. T1 se relaciona principalmente a trabalhos de gás e a indústria de mina.

Classe de Temperatura T2

Misturas com uma temperatura de ignição de t > 300 ^{o}C e uma temperatura de superfície máxima de 300 ^{o}C. As principais substâncias cobertas por T2 são: isopentano, acetato de butil, álcool etílico e acetileno, que são usados industrialmente na química de acetileno.

Classe de Temperatura T3

Misturas com uma temperatura de ignição de t > 200 ^{o}C e uma temperatura de superfície máxima de 200 ^{o}C. T3 cobre benzeno e os derivados correspondentes, que são encontrados principalmente na indústria petroquímica.

Classe de Temperatura T4

Misturas com uma temperatura de ignição de t > 135 ^{o}C e uma temperatura de superfície máxima de 135 ^{o}C. T4 inclui principalmente éter etílico e acetaldeido, que são usados em fabricação de plásticos e solventes.

Classe de Temperatura T5

Misturas com uma temperatura de ignição de t > 100 ^{o}C e uma temperatura de superfície máxima de 100 ^{o}C. A importância prática de T5 é principalmente na fabricação de fibras têxteis.

Classe de Temperatura T6

Misturas com uma temperatura de ignição de t > 85 ^{o}C e uma temperatura de superfície máxima de 85 ^{o}C. Esta classe de temperatura é de importância prática principalmente nas envolvendo o uso de bissulfeto de carbono e etil nitrito.

Classificação de máxima temperatura de superfície de equipamento Grupo II		
Classe de Temperatura	Máxima temperatura admissível da superfície dos equipamentos, ^{o}C	Temperatura de ignição de substâncias inflamáveis, ^{o}C
T1	450	>450
T2	300	300 a 450
T3	200	200 a 300
T4	135	135 a 200
T5	100	100 a 135
T6	85	85 a 100

Classificação de gases e vapores em grupos de explosão e classes de temperatura						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	Metano					
IIA	Acetona Etano Etilacetato Amônia Benzol Acido acético Monóxido de carbono Metanol Propano Tolueno	Álcool etílico I-amil acetato n-butano álcool n-butil	Petróleo Óleo diesel Óleo aviação Óleos de aquecimento n-hexano	Acetaldeido Éter etílico		
IIB	Gás de cidade	Etileno				
IIC	Hidrogênio	Acetileno				Bissulfeto de carbono

4. Classificação da Área

4.1. Responsabilidade

Classificar uma área industrial, onde se manipulam gases, vapores, líquidos voláteis, pós e fibras inflamáveis, como já visto, é lhe atribuir Classe, Grupo e Zona. Uma área segura é um local não classificado como Zona 0, 1 ou 2.

A responsabilidade da classificação das áreas perigosas de uma indústria é exclusiva do usuário, embora haja influência de autoridades governamentais competentes, companhias de seguro, laboratórios de aprovação e certificação de equipamentos, firmas de engenharia especializadas e outros. A responsabilidade da classificação é do usuário, porque ele é o único responsável pelas modificações do projeto, pela manutenção dos equipamentos e pela armazenagem dos produtos e matérias primas.

Quando se estabelece a classificação de área de uma planta, devem ser conhecidas e disponíveis:

1. as propriedades e as condições dos materiais do processo a serem manipulados, armazenados, processados ou envolvidos,
2. seus volumes e
3. as disposições dos equipamentos e
4. as possibilidades de escape e vazamento do material inflamável.

A experiência prática com relação às condições prováveis durante a partida e na condição de operação normal da planta deve ser obtida, onde possível, do pessoal de operação de plantas existentes de tipo similar. A informação prévia associada com o conhecimento do projeto e dos detalhes de construção da planta, a ventilação proposta, drenagem, topografia da planta e outros fatores relevantes fornecem a base para a classificação.

Por causa da grande variedade de materiais de processo e situações que aparecem em qualquer ponto da planta, não é possível fixar regras para classificação de área. Só é possível fornecer recomendações e princípios gerais.

O grupo responsável pela classificação de área deve garantir que a classificação seja importante para a planta quando ela for comissionada. O gerenciamento do processo deve considerar as alterações temporárias na classificação de área que podem ser necessárias durante o comissionamento quando materiais inflamáveis estão sendo introduzidos na planta, principalmente quando estes materiais podem causar uma classificação mais onerosa do que a permitida inicialmente.

A determinação da classificação de área durante o projeto e construção é baseada no julgamento de como o processo e o equipamento são esperados funcionar. A classificação de área deve, portanto, ser revista em função da experiência de operação, o mais rápido possível após a partida e, em qualquer caso dentro de alguns meses, principalmente se for evidente que o processo ou equipamento estão operando de um modo diferente que o projetado como ideal.

A revisão da classificação deve também ocorrer antes de qualquer alteração da planta existente, do seu método de operação ou da disposição ou tipos de materiais inflamáveis, para garantir que tais alterações não levem a um perigo de maior grau do que aquele para o qual a área já está classificada. Se o grau de perigo é alterado significativamente, as áreas devem ser reclassificadas.

Uma revisão similar deve ser feita anualmente para verificar se a classificação de área está sendo afetada pela deterioração de desempenho do equipamento de processo ou por outras alterações.

Sob certas condições de desligamento (*shutdown*) ou outras condições especiais, pode não haver risco da ocorrência de uma atmosfera inflamável durante um período temporário. Se isto pode ser garantido pela autoridade responsável (e deve haver um certificado documentado para este efeito), é permissível o uso temporário de equipamentos elétricos sem proteção adicional. Tais equipamentos e todas as ligações temporárias devem ser retirados da área antes de expirar o certificado e as precauções devem ser tomadas para garantir que eles não podem ser inadvertidamente usados.

Também pode ocorrer o contrário, quando se tem um maior risco de ocorrência de atmosferas inflamáveis temporárias, de modo que se deve tomar precauções especiais, tais como ventilação mecânica temporária ou, em caso extremo, o desligamento dos equipamentos elétricos.

4.2. Parâmetros

Quando se classifica uma área perigosa devem-se considerar vários fatores, entre os quais se destacam:

1. Quantidade de gases, vapores e névoas, líquidos ou pós emergindo
2. Propriedades dos materiais combustíveis

3. Natureza da fonte de perigo
4. Topografia do local: depressões e colinas
5. Natureza e efetividade da ventilação
6. Prevenção da propagação de gases, vapores e névoas ou pós
7. Aceleração da propagação de gases, vapores e névoas por correntes de ar quente
8. Planta e localização da indústria: edifícios e interligação de unidades
9. Histórico e acidentes na indústria específica ou, se a planta nova, o histórico de plantas de mesmas características: mesmo processo, mesmo produto e mesmas dimensões.
10. Conseqüências da explosão e do incêndio e se estão envolvidas vidas humanas.
11. Experiência passada
12. Manutenção e organização interna (pessoal treinado)

Como a segurança final da planta está associada diretamente com a classificação de sua área, como há pouca realimentação nesse campo, como os dados disponíveis possuem grandes desvios e principalmente, por motivos psicológicos, a tendência natural e humana é classificar uma área com maior rigor que o necessário. Como a classificação da área vai determinar o tipo de segurança a ser exigido dos instrumentos e dos métodos de manutenção, o exagero não justificado tecnicamente da área acarreta uma série de desvantagens ao usuário. A pior penalidade está relacionada diretamente com os altos gastos adicionais na compra e a restritiva manutenção futura dos equipamentos.

A classificação das áreas perigosas em uma planta é uma tarefa difícil. Não há números exatos. Porém, existem algumas recomendações para a classificação, onde são ressaltados os seguintes tópicos:

1. o conhecimento das propriedades dos materiais e produtos do processo, relacionadas com a sua inflamabilidade: densidade do líquido, densidade do vapor ou do gás, ponto notáveis de ebulição, sublimação e temperatura de ignição. O ponto de partida é a Classe - Grupo.
2. o conhecimento dos dados de processo: diagramas P & I (*Piping & Instruments*), locais de armazenamento, pontos potenciais de vazamento e escapamento de produto, locais dos equipamentos críticos, como dos reatores, das colunas de destilação, das torres de resfriamento e dos compressores. Nas tubulações, os locais propensos a liberar material são: conexões das válvulas de controle, pontos de tomada de amostra, tomadas dos elementos sensores, suspiros, drenos, válvulas de alivio, flanges e sensores de vazão.
3. conhecimento das condições ambientais e de contorno do processo e das instalações: elevação e depressão, ventilação natural e forçada, direção do vento mais comum, umidade, temperatura ambiente e corrosão do meio ambiente.
4. estabelecimento da Zona do local, tomando-se como base o local das fontes de desprendimento de materiais inflamáveis e explosivos. A classificação para atribuição de zona pode se basear em diagramas geométricos, curvas e ábacos da literatura técnica e cálculos teóricos diretos.

Algumas idéias elementares e conhecidos conceitos de segurança devem ser considerados e associados, para se garantir uma classificação criteriosa e profissional. Eis algumas lembranças:

1. os gases e os vapores mais pesados que o ar se difundem pouco, ficando próximos dos locais de liberação. Não existem em lugares elevados, pois os gases pesados não sobem; os gases pesados são detectados apenas ao nível do chão.
2. Os gases leves tendem a subir e a se acumular próximos aos eventuais tetos. Os gases leves podem ser detectados, inclusive, pelo nariz humano. A toxicidade e *irritância* dos líquidos inflamáveis, com os vapores menos pesados que o ar, podem ser consideradas para a determinação da Zona do local. O local que exige o uso de máscaras para o pessoal que trabalha no local é certamente um lugar de Zona 1.
3. Uma brisa leve pode ser portadora de grande quantidade de gases a grandes distâncias, tornando toda a área perigosa. Porém, um vento muito forte serve para dispersar o gás, eliminando o perigo. Tipicamente, vento com velocidade superior a 0,25 m/s já é considerado suficiente para dissipar o perigo.
4. Uma área pode ser contaminada por produtos inflamáveis produzidos em outros locais. Os conduítes e os cabos podem servir como dutos para transportar gases inflamáveis a grandes distâncias. A contaminação é evitada com o uso de filtros e selos.
5. Na maioria dos casos e exceto nos sistemas com purga, a classificação da

área é a mesma do interior do instrumento de campo.
6. Os gases inflamáveis liberados de vasos pressurizados ou contendo líquidos voláteis produzem volumes de gases na atmosfera muito maiores que o volume do recipiente pressurizado ou o volume do líquido que os formou.
7. É muito fácil e freqüente se adquirir um conceito exagerado do que seja Zona 1. A maioria das instalações petroquímicas e de refinarias de petróleo é constituída de uma multiplicidade de áreas de Zona 1, porém de tamanhos extremamente pequenos e limitados. Tipicamente, são Zona 1 apenas os espaços compreendidos num raio de 0,5m próximos aos vasos, tanques e torres de resfriamento que contém material inflamável, facilmente vazado.
8. Uma área de zona 2 geralmente limita uma zona 1 com área segura. Os arredores de bombas, válvulas de controle, flanges de tubulações são considerados zona 2, desde que sejam bem ventilados.
9. As bombas que freqüentemente apresentam falhas de selagem, por causa de condições adversas de operação ou do meio ambiente já exigem a classificação de zona 1 em suas proximidades.

4.3. Métodos de Classificação

Em toda planta, deve haver a classificação de área, onde se divide a planta em zonas de acordo com o risco progressivamente decrescente de ocorrência de uma atmosfera inflamável e em áreas não - perigosas, onde este risco é inexistente ou desprezível.

As plantas onde os materiais inflamáveis não são manipulados não apresentam nenhum risco e elas são classificadas evidentemente como não perigosas, mas este status deve ser formalmente estabelecido.

Em plantas onde há manipulação de líquidos inflamáveis, deve-se garantir que

1. a temperatura do líquido não ultrapasse seu ponto de fulgor. Isto é conseguido através de cuidados relativos às causas prováveis do aquecimento do líquido, como processo, ambiente, solar ou acesso acidental a superfícies quentes.
2. o risco de liberação do líquido sob pressão como uma mistura inflamável seja desprezível.

Todas as outras plantas devem ser classificadas em zonas, de acordo com o grau de risco de ocorrência de uma atmosfera inflamável.

No estabelecimento da classificação de área de uma planta, a influência da classificação de plantas adjacentes deve ser considerada.

A classificação de área não é uma ciência exata e inevitavelmente se baseia em certo grau de experiência e de julgamento subjetivo. Isto é mais facilmente aparente no método generalizado de classificação de área.

Há dois métodos básicos para classificar as áreas da indústria:

1. Método das fontes de perigo
2. Método generalizado.

Os dois métodos de classificação possuem alguns pontos em comum, pois ambos procuram:

1. identificar as partes da planta em que o perigo existe, incluindo, onde apropriado, o interior do equipamento do processo, como o espaço de vapor em tanques e vasos,
2. estabelecer a severidade dos perigos identificados, estabelecendo a classificação zonal apropriada em sua vizinhança,
3. delinear os limites destas zonas.

A diferença básica entre os dois métodos está na exatidão do enfoque. O método mais recente e difundido atualmente, se baseia na fonte de perigo e no estabelecimento quantitativo do risco resulta em uma classificação mais precisa e por isso deve ser o preferido.

4.4. Método da fonte de perigo

Uma fonte de perigo é definida como qualquer ponto do qual pode se desprender material inflamável capaz de criar uma atmosfera inflamável.

O método de classificação através fonte de perigo tem o duplo objetivo de

1. reduzir o grau de julgamento arbitrário e
2. produzir um resultado significativo em termos práticos.

Este método, diferente do generalizado, que olha o risco potencial de grandes seções da planta, concentra a sua atenção em cada item do equipamento do processo e, tendo identificado as fontes de perigo, faz uma graduação individualmente de acordo com o seu risco potencial. Para se conseguir isso, são reconhecidas três fontes de perigo:

1. fonte de risco contínuo
2. fonte de risco de grau primário
3. fonte de risco de grau secundário

Fonte de perigo 0 (contínua)

A fonte de perigo 0 ou de risco de grau contínuo libera continuamente material inflamável ou por longos períodos. Para equipamento em uso contínuo, *longos períodos* significa mais de 1000 horas/ano.

Exemplo de fonte de risco contínuo é o espaço contido de acima da superfície de líquido inflamável dentro de tanques de armazenamento ou em vaso de processo

Fonte de perigo 1 (primário)

A fonte de perigo 1 ou de risco de grau primário libera material inflamável de modo freqüente, ou mesmo se for infreqüente, pode persistir por um tempo considerável. Para equipamento em uso contínuo, é sugerido que o tempo considerável significa entre 10 e 1000 horas/ano. A liberação da substância inflamável ocorre em condições normais ou são causadas por operações de reparo ou manutenção freqüentes. Pode ainda ser causada por rompimento ou falha no equipamento de processo, que são causas anormais mas previstas, onde aparece simultaneamente a mistura explosiva e a fonte de ignição elétrica.

Exemplos de fontes de risco primário:

1. equipamentos destinados ao transporte, manipulação ou armazenamento de substâncias inflamáveis, de onde há liberação freqüente e em grande quantidade destas substâncias para a atmosfera, como:
   - bocais de carregamento de caminhões, tanques e navios para carga e descarga ao ar livre,
   - dispositivos de descarga para a atmosfera por período total de 20 minutos a cada 24 horas,
   - equipamentos abertos
   - respiros (vents)
   - drenos
   - tanques abertos com substâncias inflamáveis
   - separadores
   - equipamentos para carga e descarga
2. máquinas e equipamentos associados para manipulação, transporte ou armazenamento de substâncias inflamáveis com probabilidade de liberação destas substâncias para a atmosfera, em condições normais de operação, porém em menor quantidade que o indicado no item 1, tais como:
   - gaxetas de vedação, compressores, misturadores sem vents
   - gaxetas de vedação de válvulas de controle, retenção e bloqueio
   - respiros (vents) das válvulas de alívio e segurança e discos de ruptura
   - respiros (vents) dos *flares* sem queimador piloto permanentemente acesos.
3. máquinas e equipamentos para transporte, manipulação ou armazenamento de substâncias inflamáveis que podem liberar estas substâncias durante as operações de controle ou manobra por um período total entre 5 e 20 minutos a cada 24 horas, tais como
   - bocas de visita e janelas de inspeção para acesso à parte interna de máquinas e recipientes fechados manualmente
   - respiros (vents) abertos e drenos de equipamentos de processo
   - pontos de coleta de amostra de gases ou líquidos voláteis inflamáveis (ponto de fulgor abaixo de 21 ^{o}C), sem dreno

Fonte de perigo 2 (secundário)

A fonte de perigo 2 ou de risco de grau secundário libera a substância inflamável de modo pouco freqüente e em períodos curtos. Para equipamento em uso contínuo, é sugerido que a curta duração significa menos que 10 horas/ano. A liberação da substância inflamável ocorre em condições anormais de operação ou causadas por condições anormais e previstas, mas com pouca freqüência ou durante curtos períodos.

Exemplos de fontes de risco de grau secundário:

1. máquinas e equipamentos destinados ao transporte, manipulação ou armazenamento de substâncias inflamáveis que podem liberar tais substâncias somente em condições anormais mas previstas de operação dos dispositivos de vedação e segurança, tais como:
   - visores de nível (LG) e vazão (FG)
   - conexões de tubulações e de instrumentos, como flanges, juntas flexíveis e uniões
   - gaxetas de vedação de bombas, compressões e misturadores, com tubulação de segurança ou com dispositivos de pressurização e lavagem e vedações mecânicas do tipo sem vazamento
   - gaxetas de vedação de válvulas de operação manual em tubulação ou dispositivo de segurança
   - gaxetas de vedação de válvula de controle na saída ou entrada de equipamento ou válvula que opere somente para bloqueio ou fechamento, no caso de avarias

- selos mecânicos de máquinas ou de válvulas previstos sem perdas

2. máquinas e equipamentos para transporte, manipulação ou armazenamento de substâncias inflamáveis que podem ser liberadas durante operações de controle ou manobra, por um período total de 5 minutos em cada 24 horas, tais como
   - portas para acesso aos internos de máquinas e recipientes normalmente fechados
   - acessórios de tubulação de drenagem de equipamentos de processo
   - pontos de amostra de gases ou de líquidos com ponto de fulgor menor que 21 ^{o}C
   - pontos de amostra de gases ou de líquidos com ponto de fulgor maior que 21 ^{o}C sem dispositivo de drenagem
   - pontos de drenagem de condensado e instrumentos de controle de líquidos.

4.5. Método generalizado

Quando não for possível identificar e graduar as fontes de perigo em uma planta, por causa da falta de dados adequados, o método da fonte de perigo não pode ser aplicado adequadamente. Nestas circunstâncias, o método generalizado é mais apropriado.

A classificação de área pelo método generalizado requer um julgamento a ser feito, usualmente para grandes seções da planta (por isso o termo generalizado), atribuindo-se um perigo final alto (Zona 0 ou Zona 1) ou baixo (Zona 2). O julgamento é feito por referência a um conjunto de critérios arbitrários ou por critérios totalmente subjetivos. Por causa disso, ele resulta em uma aplicação aproximada de definições de zonas. Os resultados obtidos da classificação da mesma área através dos dois métodos, fonte de perigo e generalizado, podem ser diferentes.

Os padrões de classificação do método generalizado são os seguintes:

1. uma Zona 1 é maior do que a ocupada pelo equipamento do processo com uma Zona 2 vizinha, separando-a de uma área não-perigosa.
2. uma Zona 1 é maior do que a ocupada pelo equipamento de processo e limitada por uma linha sendo cercada por uma área não-perigosa.
3. uma Zona 2 é maior do que a ocupada pelo equipamento de processo e é limitada por uma linha sendo cercada por uma área não-perigosa.

Nos casos acima, pequenas Zonas 0 isoladas podem ser identificadas dentro de uma Zona 1 ou 2.

O método generalizado geralmente resulta em maiores áreas de Zona 1, pois a tendência natural é atribuir uma classificação mais rigorosa, em caso de dúvida. O método generalizado geralmente erra para o lado da segurança. A tendência comum do método generalizado é a de classificar uma grande área como Zona 1, quando ela contém poucos pontos de alto risco de perigo. Outra tendência e a de classificar toda a área como Zona 2, ignorando os pontos de perigo de alto risco. O mais correto é classificar toda a área como Zona 2, com poucas ilhas de Zona 1.

4.6. Extensão de áreas em locais bem ventilados

Uma situação bem ventilada é uma área ou edifício substancialmente aberto, onde há pequena ou nenhuma restrição para a passagem natural do ar através dela. Por exemplo, a carcaça de um compressor com um grande ventilador no teto e com os lados abertos para permitir a livre passagem do ar através de todas as partes do edifício é considerada como bem ventilada.

Considerações preliminares

Com relação as condições afetando a formação de uma atmosfera inflamável, os seguintes pontos são importantes em estabelecer o tamanho das áreas perigosas em todas as situações, bem ventiladas ou não:

1. misturas de gases ou vapores inflamáveis com ar são capazes de ignição somente dentro dos seus limites inferior e superior de inflamabilidade, que variam consideravelmente para os diferentes materiais. Os limites de inflamabilidade das substâncias mais comuns são publicados na literatura técnica.
2. a evolução do vapor de um material inflamável que é um líquido em temperatura e pressão ambientes normais é pequeno e, no evento do escape sob estas condições, a atmosfera inflamável resultante é limitada a uma pequena área tem torno da superfície do líquido. Se, porém, o material que é líquido à temperatura e pressão ambientes normais é aquecido acima de seu ponto de ebulição inicial, então o vapor irá flachear em grande quantidade se houver um escape para a atmosfera. Quanto maior a temperatura, maior o flacheamento; podendo chegar a 100%.
3. De modo análogo, com gases inflamáveis liquefeitos, a quantidade de vapor que flacheia de um escape para a atmosfera é sempre grande. O vapor resultante é frio e a tendência é compartilhar com muitos outros

vapores do líquido para cair e se esparramar, pois eles são mais pesados que o ar.

A dimensão da área perigosa depende da distância estimada ou calculada que uma atmosfera inflamável é capaz de se mover antes de se dispersar e atingir uma concentração menor que o seu limite inferior de inflamabilidade.

Esta dispersão é afetada pela

1. quantidade do escape
2. velocidade de escape
3. densidade do gás ou vapor
4. taxas de difusão
5. correntes de ar de ventilação
6. características topográficas do local envolvido.

Com gases ou vapores mais leves que o ar, um escape em baixa velocidade irá se dispersar muito rapidamente para cima em uma situação bem ventilada. Porém, a presença de um teto irá aumentar inevitavelmente a área de dispersão sob ele. Se o escape ocorre em alta velocidade em um jato livre, a ação do jato, embora entrando ar que dilui o gás, pode aumentar a distância em que a mistura gás-ar permanece acima de seu limite mínimo de inflamabilidade.

Com gases ou vapores mais pesados que o ar, um escape em baixa velocidade irá tender vazar para baixo e pode caminhar grandes distâncias sobre a terra antes de ser disperso de modo seguro pela difusão atmosférica. Deve-se ter atenção especial à topografia de qualquer lugar sob consideração e também as áreas vizinhas, para determinar onde os gases ou vapores podem ficar acumulados em buracos ou descer para níveis mais baixos. Se o escape é em alta velocidade em um jato livre, a ação da mistura do jato pela entrada de ar pode reduzir a concentração da mistura a níveis mais baixos que o limites inferior de inflamabilidade em uma distância muito mais curta em comparação com o escape de baixa velocidade.

Em muitas situações da planta, um escape que começa com jato de alta velocidade pode bater em um obstrução, de modo que a energia cinética do jato é dissipada e a dispersão ocorre simplesmente por difusão, como no caso de um escape de baixa velocidade.

A dispersão de gás ou vapor em uma atmosfera aumenta com a velocidade do vento mas há uma velocidade mínima de 5 a 8 km/h requerida para iniciar uma difusão turbulenta. Abaixo deste limite, ocorre a formação de camada de gás ou vapor e a distância para a dispersão segura é muito aumentada. As velocidades do vento geralmente são maiores que esta velocidade de 8 km/h mas em áreas fechadas ou engavetadas por grandes vasos ou estruturas, a velocidade do ar pode ficar muito abaixo de 5 km/h. Nestas áreas, porém, a obstrução do movimento do ar pelos equipamentos tende a manter a turbulência, mesmo em baixas velocidades do ar.

Deve-se ter muito cuidado e ter conhecimentos especializados e experimentais para se estabelecer a área de dispersão do gás ou vapor antes da diluição ficar abaixo de limite inferior de inflamabilidade. Quando não se tiver esta experiência para determinar o tamanho da área ou se os dados não estiverem disponíveis para se fazer cálculos confiáveis, deve-se fazer testes experimentais com detectores portáteis de gás. Tais testes devem ser feitos, variando-se os parâmetros de velocidade e direção do vento, topografia, tipos de gases. Os testes devem cobrir as condições mais desfavoráveis possíveis.

As dimensões de áreas de perigo resultante de pequenos vazamentos em situações bem ventiladas não devem ser exageradas. Por exemplo, onde um selo de bomba deve ser molhado para operar, isto significa que sempre há um pequeno vazamento, mas ele é normalmente tão pequeno que o perigo é desprezível. Vapor de gotas de líquido volátil é improvável de causar uma atmosfera inflamável além de 0,3 metro do vazamento.

Vazamento que pode causar um perigo significativo deveria ter uma vazão contínua de líquido volátil e em uma planta bem supervisionada, ele seria detectado e corrigido em um curto intervalo de tempo.

Um maior perigo com vazamentos de líquido é o que pode se esparramar sobre uma superfície de água e então entrar em ignição em um ponto distante do ponto original de vazamento, colocando em risco uma grande área da planta.

Quando se estabelece a extensão das áreas perigosas, e importante considerar a dispersão rápida da atmosfera inflamável. Em uma área mal ventilada, o que seria uma classificação de Zona 2 passa a ser Zona 1. Exemplo de área mal ventilada é um buraco ou bandeja de cabos.

Depressões rasas e largas, como as vizinhas de tanque ou conjunto de bombas não exigem esse tratamento rigoroso de consideração de Zona 1.

Método da fonte de perigo

Em situações bem ventiladas, as seguintes regras determinam a extensão das áreas classificada em torno de diferentes graus de fontes de perigo:

Fonte de perigo 0

Para liberação de produto inflamável no modo de fonte de perigo 0, a Zona 0 se estende da fonte até o limite em que se julga que a atmosfera inflamável tenha concentração abaixo de seu limite mínimo de inflamabilidade. Além desta linha, se aplicável, há uma Zona 1 ou 2 se estendendo até outro limite, definido de modo similar mas fornecendo o que é exigido pela liberação no modo de fonte de perigo 1 ou fonte de perigo 2.

A área não perigosa começa no limite da Zona 1 ou 2, exceto nos casos raros onde nenhuma Zona 1 ou 2 é considerada necessária e ela começa na Zona 0.

Fonte de perigo 1

Para liberação de produto inflamável no modo de fonte de perigo 1, a Zona 1 se estende da fonte até o limite em que se julga que a atmosfera inflamável tenha concentração abaixo de seu limite mínimo de inflamabilidade. Além desta linha, se aplicável, haverá uma Zona 2 se estendendo até outro limite, definido de modo similar mas fornecendo o que é exigido pela liberação no modo de fonte de perigo 2.

A área não perigosa começa no limite da Zona 2, exceto nos casos raros onde nenhuma Zona 2 é considerada necessária e ela começa na Zona 1.

Fonte de perigo 2

Zona 2 se estende de uma fonte de perigo até o limite em que é julgado que a concentração da atmosfera inflamável cairá abaixo do limite mínimo de inflamabilidade.

A área não perigosa começa neste limite.

Onde as zonas criadas por fontes de perigo adjacentes se superpõem e são de diferentes classificações se aplica a classificação de maior risco. Onde as zonas superpostas são de mesma classificação, a classificação comum deve ser aplicada, exceto em casos excepcionais que requerem uma classificação de maior risco.

Método generalizado

Quando uma seção da planta que é bem ventilada é classificada pelo método generalizado como inteiramente Zona 1 ou 2, a extensão da área perigosa será determinada pela máxima distância que uma atmosfera inflamável criada dentro da planta pode se mover em qualquer direção antes de ficar diluída abaixo de seu limite mínimo de inflamabilidade.

Se outros meios (recomendação do especialista, medições com detector de gás, cálculos e experiência anterior de plantas similares) não estão disponíveis, pode-se determinar a distância das fontes de perigo para o limite das áreas perigosa e não-perigosa através de dados tabelados da literatura técnica. A distância assim determinada pode ser de 30 metros ou mais. Recomenda-se o mínimo de 3 metros.

Quando o padrão decidido da classificação é de uma Zona 1 cercada por Zona 2, o perigo diminui progressivamente assim que se afasta dos pontos potenciais de desprendimento de material inflamável. A determinação da fronteira Zona 2 - área não-perigosa é análoga à determinação da fronteira Zona 1 - Zona 2. O critério é que qualquer atmosfera inflamável criada dentro da planta sob operação normal deve dispersar até atingir concentrações abaixo do limite inferior inflamável dentro da área classificada como Zona 1 e também se deve consultar um especialista.

Os limites da Zonas 0 são determinados de modo similar àqueles usados com o método da fonte de perigo.

4.7. Extensão de áreas em locais mal ventilados

A classificação de locais mal ventilados difere da classificação de situações bem ventiladas mais em grau do que em princípio. A área pode ser classificada por qualquer um dos dois métodos (fontes de perigo ou generalizado), mas a extensão das zonas considera as condições menos favoráveis, em que um desprendimento de gás ou vapor inflamável pode se dispersar para concentrações abaixo do limite mínimo inflamável. Sem exceção, as distâncias envolvidas são maiores do que as distâncias estabelecidas para as situações bem ventiladas.

Os seguintes pontos são muito importantes para situações de interiores não ventilados:

1. fontes contínuas de perigo devem ser evitadas. Quando elas forem inevitáveis, deve-se arrumar ventilação especial para o local.
2. cada sala de um edifício fechado deve ser considerada separadamente para possíveis fontes de perigo. As aberturas de uma sala para outra e para o exterior requerem atenção especial.
3. muito processos que ocorrem em ambientes fechado envolvem o movimento de vasos contendo líquidos inflamáveis. Deve-se tomar muito cuidado com as fontes móveis de perigo na classificação de uma planta.
4. investimentos especiais devem ser feitos para o maior risco resultante de vazamentos acidentais quando líquidos inflamáveis são

manipulados em vasos portáteis e transportáveis ou quando a manipulação é feita com o vaso aberto, como parte do processo.

5. onde uma sala que não contém uma fonte de perigo é situada em uma Zona 1 ou Zona 2, a classificação a ser adotado para o interior da sala depende da probabilidade do material inflamável entrar na sala e da ventilação do interior. Pode ocorrer três situações:
   - no caso de ventilação inadequada, onde há uma possibilidade de material inflamável entrar e ficar na sala, a classificação do local deve ser de Zona 1, mesmo que a classificação da área externa seja de Zona 2.
   - no caso de uma sala com ventilação mecânica adequada, o interior pode ser classificado como não perigosa, mesmo que a área externa seja classificada como Zona 2. Neste caso, deve-se considerar a necessidade de colocar um alarme para operar na falha na ventilação.
   - no caso de uma sala com sistema de pressurização mecânico, janelas e portas seladas convenientemente, o interior pode ser classificado como não perigoso, mesmo que a classificação da área externa seja de Zona 1.
6. onde se usa ventilação mecânica como um meio de reduzir o perigo em um espaço fechado, a classificação zonal do espaço pode ser modificado. Este procedimento é uma forma de purga, que é uma proteção adicional.

Método da fonte de perigo

O tratamento para classificar locais mal ventilados é similar ao relacionado com locais bem ventilados, exceto que as distâncias cotadas devem ser aumentas por um fator consistente com a diminuição da ventilação e deve-se ter a opinião de um especialista experiente. O efeito disso em uma situação de interior pode ser que, se é identificado um número de fontes de perigo 1 na sala, a classificação de Zona 1 deve ser estendida por toda a sala.

Se forem identificadas somente fontes de perigo 2, a classificação do interior deve ser de Zona 2, desde que haja ventilação, drenos e outros meios de controle que garantam a dispersão rápida da atmosfera inflamável em menos de 5 minutos. Onde isso não for possível, a classificação passa para Zona 1 para toda a sala.

Em caso de grandes salas contendo fontes de perigo, devem ser tomadas precauções para localizar qualquer atmosfera inflamável (por exemplo, ventilação especial), todo o ambiente da sala não necessariamente deve ter a mesma classificação e alguma parte da sala pode mesmo ser não perigosa. Onde se emprega ventilação forçada, deve-se ter um sistema de intertravamento dos equipamentos elétricos ou um sistema de alarmes para evitar uma condição perigosa na eventual falha do sistema de ventilação.

Os termos pequena e grande sala se relacionam com a área provável de espalhamento da atmosfera inflamável.

A classificação de áreas vizinhas a áreas internas contendo fontes de perigo deve ser determinada pela consideração da probabilidade de espalhamento da atmosfera inflamável liberada através de portas, janelas e outras aberturas.

Método generalizado

Para situações externas mal ventiladas, as recomendações para locais bem ventilados se aplicam, tomando cuidado especial de considerar piores as condições de dispersão da atmosfera inflamável.

Para áreas internas, os métodos generalizado e fonte de perigo não produzem classificações muito diferentes, com o método da fonte de perigo tendendo a convergir para o método generalizado.

5. Figuras de Classificação

IEC [31J(S)10, 1987], NEC, API, Petrobrás e ICI (*Imperial Chemical Industries*) propõem algumas figuras para orientar a classificação de áreas, indicando distâncias e estabelecendo os limites das Zonas 0, 1 e 2, para gases mais leves e mais pesados que o ar A Petrobrás desenvolveu seus desenhos baseando-se nos desenhos do API:

N-2166 (JUL. 88): Classificação de Áreas para Instalações Elétricas em Refinarias de Petróleo.

N-2167 (JUL. 88): Classificação de Áreas para Instalações Elétricas em Unidades e Transporte de Petróleo, Gás e Derivados.

Nas Fig. 3.9 a Fig. 3.14 tem-se exemplos de figuras de classificação de áreas.

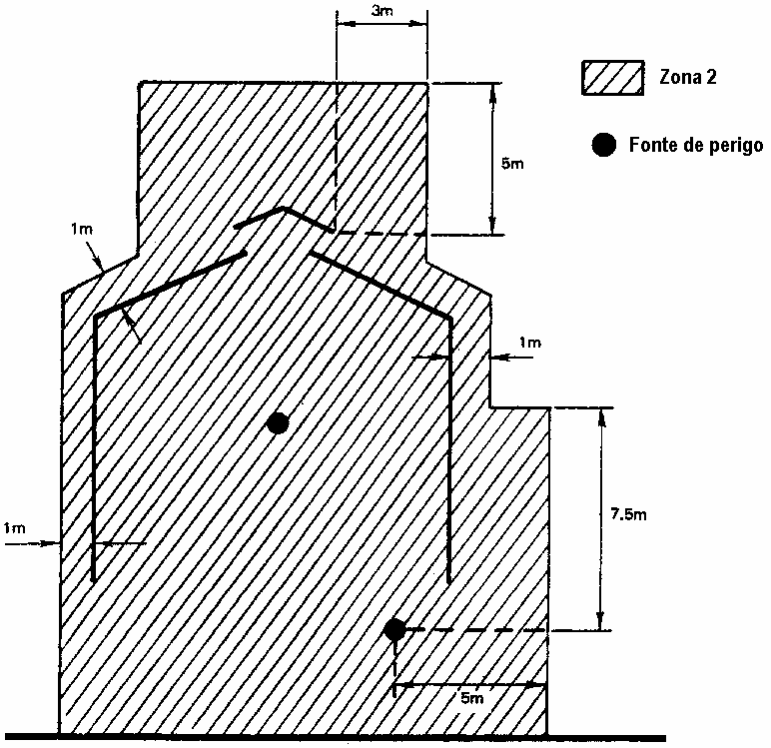


Fig. 3.9. Classificação de área para um local com um compressor reciprocante ou centrífugo manipulando um **gás mais leve que o ar**, com laterais abertas e ventilação no teto (Imperial Chemical Industries Ltd, ICI/RoSPA 1972 IS/91)

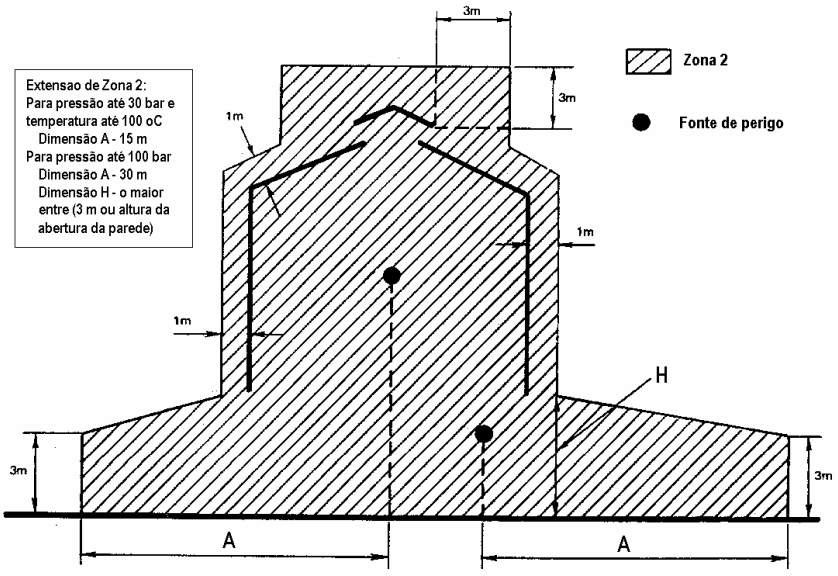


Fig. 3.10. Classificação de área para um local com um compressor reciprocante ou centrífugo manipulando um **gás mais pesado que o ar**, com laterais abertas e ventilação no teto (Imperial Chemical Industries Ltd, ICI/RoSPA 1972 IS/91)

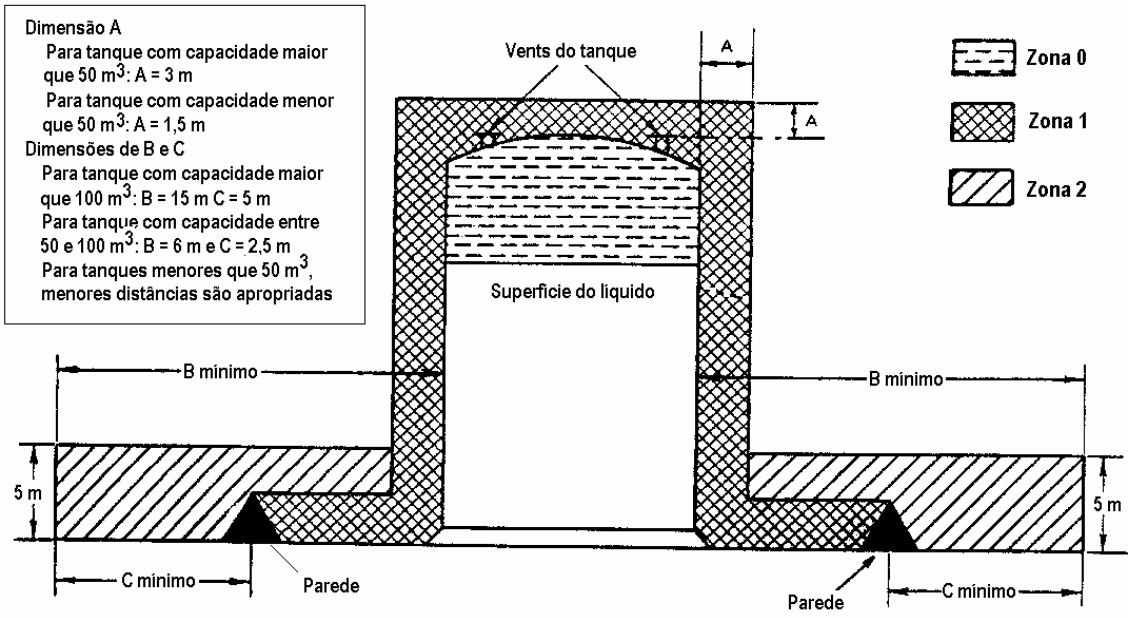


Fig. 3.11. Classificação de área para um tanque de armazenamento de líquido inflamável com ponto de fulgor menor que 32 °C e com teto fixo (Imperial Chemical Industries Ltd, ICI/RoSPA 1972 IS/91).

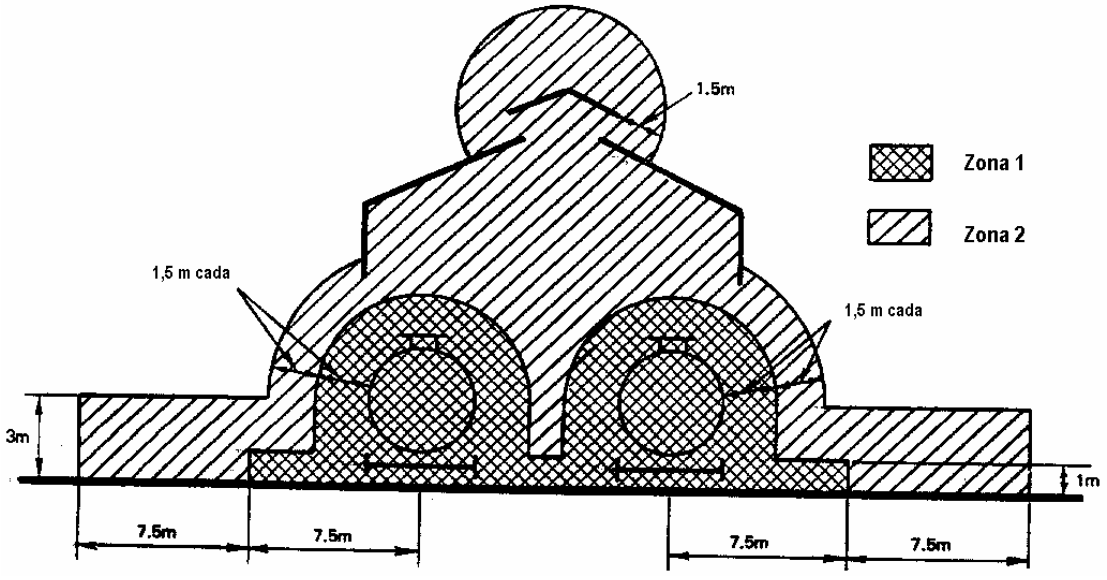


Fig. 3.12. Classificação de área para um tanque de armazenamento de líquido inflamável com ponto de fulgor menor que 32 °C e com teto flutuante (Imperial Chemical Industries Ltd, ICI/RoSPA 1972 IS/91).

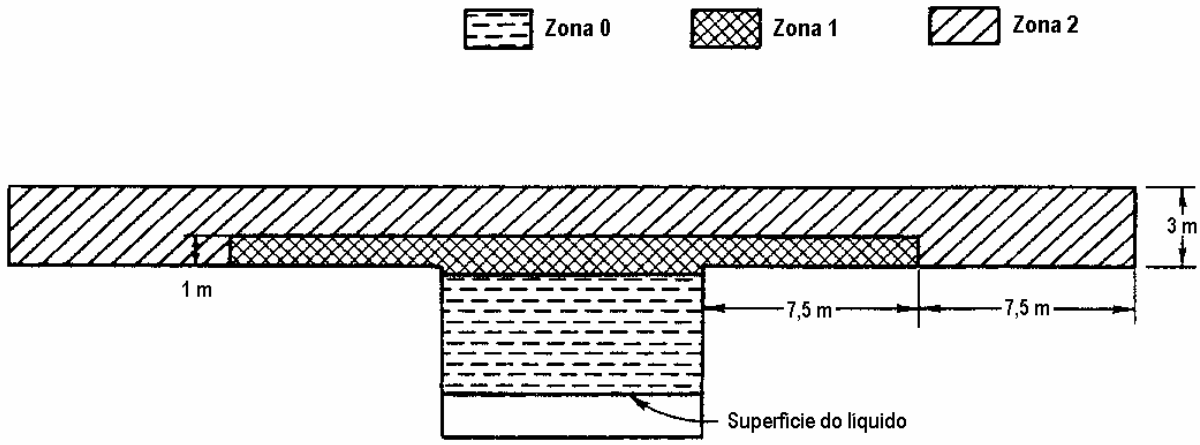


Fig. 3.8. Classificação de área para separador de óleo/água aberto no topo

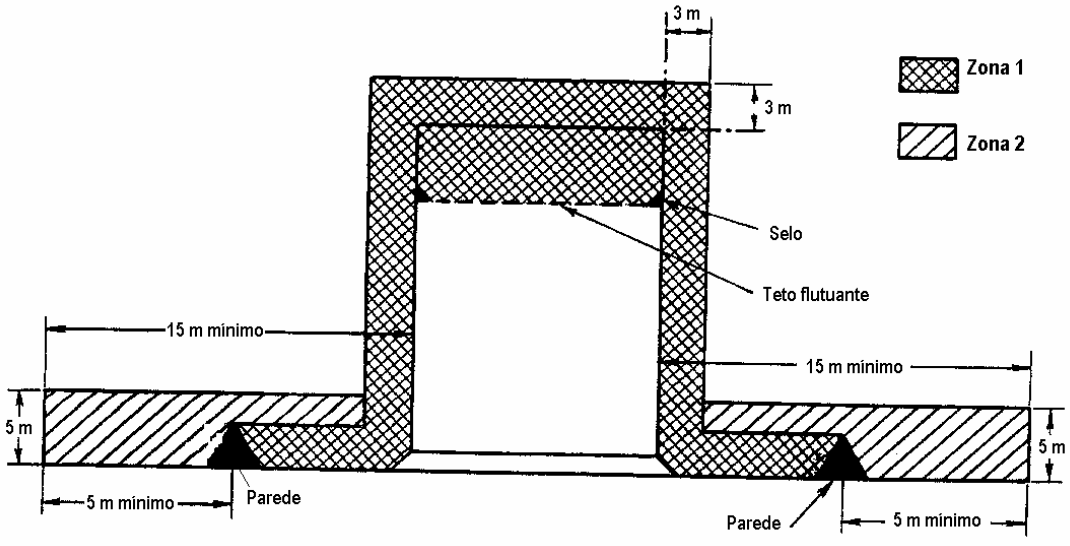


Fig. 3.9. Classificação de área para local onde há carregamento de líquido flamável em caminhões tanque

6. Desclassificação de Área

Existem várias normas e práticas recomendadas para a difícil classificação de locais de uma grande variedade de processos e locais.

A existência de locais fechados e ventilação forçada podem tornar uma área perigosa em segura. Por isso, é uma questão de simples análise a conveniência do usuário deixar a área classificada e usar instrumentos com classificação elétrica especial ou fechar locais ou colocar ventilação forçada, transformando a área perigosa em segura e usando-se instrumentos de uso geral. É uma questão econômica e de segurança a opção em se ter um local naturalmente perigoso com instrumentos elétricos classificados especialmente e mais caros ou um local artificialmente seguro, conseguido por fechamento com paredes de alvenaria ou por ventilação com instrumentos elétricos comuns e mais baratos.

7. Áreas com pós

7.1. Princípios Gerais

A classificação de área deve ser feita para todas as plantas que manipulem pós inflamáveis. A literatura técnica lista os principais pós que podem entrar em ignição, sob certas condições.

Os princípios envolvidos são similares aos usados para classificar plantas manipulando gases, vapores ou líquidos inflamáveis mas deve-se reconhecer que o comportamento dos pós inflamáveis não é tão previsível quanto o dos gases ou vapores.

Quando um pó é liberado em uma atmosfera ele dispersa no ar como uma nuvem ou pode se espalhar por grandes áreas através do movimento do ar. Uma nuvem de pó inflamável dentro de sua faixa inflamável pode entrar em ignição e, em espaço confinado, pode explodir. Um pó leve permanece em suspensão por mais tempo que um pó pesado, mas ambos eventualmente formam camadas nas superfícies expostas. Se estas superfícies estiverem quentes ou se houver alguma outra fonte de energia, uma camada de pó inflamável é um risco constante e pode entrar em ignição produzindo um incêndio cuja severidade depende das características de queima do material.

Alguns pós inflamáveis em forma de camada quando entram em ignição possuem a habilidade de propagar a combustão pela chama ou se queimam lentamente, particularmente quando estiver em grande quantidade. Em alguns casos, quando a fonte de ignição é removida, a combustão da camada de pó cessa. Em outros casos, ela continua e a camada de pó é chamada de *fogo trem*.

Uma camada de pó inflamável pode sofrer perturbada para formar uma nuvem de pó que pode se espalhar e eventualmente formar outra camada em outro local. Este ciclo pode ser repetido de tempos em tempos. Quando ocorrer uma pequena explosão, camadas de pó inflamável de uma grande área podem ser perturbadas para formar uma nuvem que, entrando em ignição, pode criar uma explosão secundária e um incêndio consideravelmente mais perigoso do que a primeira explosão de origem. Em uma planta manipulando pó inflamável deve haver norma rigorosa de armazenamento.

Os problemas associados com as camadas e nuvens de pó são complexos. Os dados que podem ser relevantes no caso de ignição de camadas e nuvens de pó são:

1. temperatura de ignição
2. mínima energia de ignição
3. estabilidade termal
4. limite inferior inflamável (caso de nuvem de pó)

Valores típicos para o limite mínimo inflamável estão na faixa de 0,01 a 0,06 kg de pó inflamável disperso em cada m^3 de ar e tal concentração é claramente visível. Porém, estes parâmetros não fornecem uma medida direta da sensitividade do pó para a ignição e estão sujeitas a certas limitações.

No caso de camadas de pó, os dados são afetados pela:

1. espessura da camada
2. temperatura da superfície que recebe o pó
3. vizinhança imediata

A temperatura de ignição pode cair quando a espessura da camada aumenta.

No caso de nuvens de pó, os dados podem ser afetados por

1. conteúdo do solvente
2. presença de aditivos
3. distribuição do tamanho da partícula na nuvem.

Para um dado material, uma nuvem de pó com uma maior proporção de pequenas partículas é mais provável de ter uma menor temperatura de ignição que a nuvem com uma predominância de grandes partículas. Assim, é essencial obter a orientação de um especialista para fornecer tais dados.

7.2. Método de classificação

Como uma nuvem de pó inflamável pode se formar como o resultado de liberação de pó do equipamento da planta e também de distúrbios de depósitos de pó e por causa da dificuldade de quantificar o tamanho da área de espalhamento das nuvens de pó, é recomendado o uso do método generalizado de classificação baseado no julgamento e experiência, como o descrito para classificar plantas com gases e vapores. Em alguns casos, porém, deve-se usar as técnicas do método de fonte de perigo, descrito em 2.3.1.

Quando se faz a classificação de área é necessário:

1. identificar as partes da planta onde pode existir o pó inflamável e onde apropriado, o interior do equipamento do processo
2. estabelecer a probabilidade de ocorrência de uma atmosfera inflamável, considerando o nível geral de armazenamento que é mantido na planta e a partir destes dados, fazer a classificação zonal apropriada da área.
3. delinear os limites de zonas, considerando o efeito da probabilidade do movimento do ar.

No estabelecimento da classificação de plantas, a influência da classificação das plantas adjacentes deve ser considerada.

A classificação deve ser feita de acordo com os seguintes critérios.

7.3. Redução do perigo

Os princípios de redução de perigo em locais com pó são diretos e simples:

1. Evitar o acúmulo de pó. Se não há pó, ele não pode entrar em ignição.
2. Eliminar fonte de ignição, com
   a) uso de equipamentos elétricos de projeto especial,
   b) aterramento das partes metálicas das máquinas que manipulem pó para reduzir as cargas estáticas,
   c) seleção dos materiais de esteiras e
   d) reforço das normas de segurança relativas a chamas abertas e soldas.
3. Tratar o pó e manuseá-lo de modo que seja difícil sua ignição.
4. Projetar máquinas e equipamentos para minimizar a probabilidade de ocorrência de explosão, através de
   a) corta chama para evitar a propagação de incêndio
   b) vent da pressão de alivio e
   c) redução do risco para a estrutura.
5. Detectar o inicio do aumento da pressão quando ocorrer uma explosão em um sistema fechado e extingui-la com um material inerte.

Independente da classificação zonal, a temperatura de todas as superfícies em que um pó inflamável pode se alojar, deve ser menor que a temperatura de ignição da camada de pó formada. Do mesmo modo, a temperatura de todas as superfícies com que uma nuvem de pó inflamável pode entrar em contato deve ser menor que a temperatura de ignição do pó em forma de nuvem.

Em alguns casos excepcionais, por razões de processo, quando é inevitável se ter uma temperatura de superfície maior que a temperatura de ignição do pó presente, o equipamento deve ser projetado e mantido para evitar o acúmulo de pó em tais superfícies quentes e as plantas devem ser operadas e mantidas para evitar a formação de nuvens de pó.

7.4. Tipos de proteção para áreas com pó explosivo

Áreas de zona 20

Um lugar em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível está presente continuamente ou por longos períodos ou freqüentemente.

Somente equipamento e sistemas de proteção da categoria 1D podem ser usados nesta zona 20.

A energia requerida para alimentar os sensores e os transmissores é limitada de modo que a energia não é suficiente para provocar a ignição de uma mistura explosiva. Circuitos e equipamentos que satisfazem estas exigências são considerados intrinsecamente seguros. A segurança intrínseca incorpora tanto os equipamentos intrinsecamente seguros e os equipamentos associados com uma saída intrinsecamente segura. Em outras palavras, todo o circuito deve ser configurado para ser intrinsecamente seguro.

Áreas de zona 21

Um lugar em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível é provável de ocorrer em operação normal ocasionalmente.

Fig. 3.15. Invólucro à prova de pó

Somente equipamento e sistemas de proteção da categoria 1D e 2D podem ser usados nesta zona 21. Vários tipos de proteção são disponíveis para o equipamento elétrico usado em zona 21.

Segurança intrínseca iD

A energia requerida para alimentar os sensores e os transmissores é limitada de modo que a energia não é suficiente para provocar a ignição de uma mistura explosiva. Circuitos e equipamentos que satisfazem estas exigências são considerados intrinsecamente seguros. A segurança intrínseca incorpora tanto os equipamentos intrinsecamente seguros e os equipamentos associados com uma saída intrinsecamente segura. Em outras palavras, todo o circuito deve ser configurado para ser intrinsecamente seguro.

Invólucro vedado a pó tD

Um invólucro vedado a pó, que evita a penetração de partículas visíveis de pó ou limita a quantidade de pó a níveis que não pode prejudicar a operação segura do equipamento. O pó deve ser incapaz de coletar no invólucro e não deve representar um risco de ignição.

Encapsulamento mD

Com este tipo de proteção, uma parte do equipamento que gera faíscas ou se aquece excessivamente pode ser encapsulada em um composto fundido (termo-resistentes ou termoplásticos com ou sem enchimentos), de modo que é blindado de atmosferas de pós explosivos externos.

O encapsulamento garante a isolação de uma atmosfera explosiva sob todas as condições de operação e de instalação.

Invólucro pressurizado pD

Equipamento elétrico faiscador e componentes com superfícies quentes podem ser alojados em um invólucro que é pressurizado com gás inerte para uma pressão maior do que a pressão externa ao invólucro.

Áreas de zona 22

Um local em que uma atmosfera explosiva na forma de uma nuvem de pó combustível no ar não é provável de ocorrer em operação normal, mas, se ocorrer, ela irá persistir somente por um período curto de tempo.

Somente equipamento e sistemas de proteção da categoria 1D, 2D e 3D podem ser usados nesta zona 22.

Tab. 3.4. Categorias D e Zonas

Categoria	Zonas
1D	20
2D	21
3D	22

Técnicas de Proteção

Objetivos de Ensino

1. *Conceituar equipamento, seu grupo e sua categoria.*
2. *Conceituar proteção primária e secundária.*
3. *Apresentar os parâmetros técnicos, econômicos e de segurança para a escolha da técnica mais adequada para determinada aplicação*
4. *Identificar as responsabilidades.*
5. *Apresentar de modo resumido, todas as técnicas de proteção comerciais aplicadas à equipamentos, instrumentos, componentes e partes, como segregação, ignição contínua, prova de chama, segurança intrínseca, pressurização, não incenditivo, segurança aumentada, encapsulamento, enchimento de areia, imersão em óleo, hermeticamente selado, selado, , respiração restrita, diluição contínua e especial.*
6. *Associar proteção e zona.*

1. Instalação elétrica

1.1. Equipamento elétrico

Instalação elétrica é o conjunto de equipamentos, instrumentos, fiação, dispositivos auxiliares que é alimentado por energia elétrica. As duas grandezas elétricas fundamentais são a tensão e a corrente elétrica. Geralmente, a alimentação da instalação é feita por uma tensão elétrica constante, onde circula uma corrente elétrica variável.

Os equipamentos elétricos incluem itens para a geração, conversão, transmissão, distribuição, armazenamento, medição, regulação e consumo de energia elétrica. Há também instrumentos elétricos usados para a medição, monitoração, alarme e controle de outras variáveis de processo. Finalmente há itens para telecomunicações.

Exemplos de equipamentos elétricos: motores, geradores, transformadores. Instrumentos elétricos são sensores, transmissores, indicadores, registradores, contadores, controladores e elementos finais de controle.

Atualmente, a maioria absoluta das plantas de processo utilizam equipamentos e instrumentos elétricos.

No contexto deste trabalho, a palavra elétrica pode ter o mesmo significado que eletrônica.

Todo equipamento elétrico para uso pessoal, doméstico e industrial deve atender exigências mínimas de isolação, alimentação, segurança, interferência eletromagnética. Estas exigências são estabelecidas em normas nacionais e internacionais.

1.2. Equipamento elétrico para área classificada

Como estabelecido pelas normas, os equipamentos para áreas classificadas podem ser dos seguintes tipos:

Grupo I – para minas

Grupo II – para locais diferentes de minas.

Grupo I

O equipamento elétrico para Grupo I é usado em minas onde pode haver a mistura ar com metano, com uma temperatura de superfície de 150 ^{o}C ou onde o pó de carvão pode se depositar para formar uma camada. Se não há risco de formação de depósitos, é permitida uma temperatura de 450 ^{o}C na superfície.

O equipamento Grupo I compreende o equipamento de Categorias M1 e M2.

Grupo II

O equipamento Grupo II compreende o equipamento elétrico para áreas perigosas que não sejam em minas (Grupo I). O equipamento do Grupo II é subdividido em três diferentes categorias, dependendo da presença contínua

(a), ocasional (2) ou rara (3) da atmosfera perigosa no local.

As categorias são suplementadas ainda com as letras maiúsculas G (para gás) e D (para pó).

As exigências são dirigidas para equipamento elétrico para gases e vapores, alterações para pós e equipamento não elétrico estão contidos nas normas básicas individuais.

Classe de temperatura

Além desta classificação, o instrumento elétrico também possui uma classificação de temperatura, que é a máxima temperatura que sua superfície ou peça interna pode atingir em operação normal, supondo uma temperatura ambiente de
40 ^{o}C.

A norma estabelece seis classes de temperatura de instrumento.

1.3. Provisões gerais

As normas IEC 60 079-0 e EN 50 014 estabelecem as provisões gerais que a construção dos equipamentos elétricos deve atender. Os equipamentos elétricos para áreas perigosas devem satisfazer as provisões gerais e também as provisões suplementares do tipo específico de proteção em que ele foi construído. As normas do tipo de proteção específica contra explosão (IEC 60 079-1 a 14) podem aumentar ou diminuir estas exigências.

Condições excepcionalmente hostis, efeitos de umidade, temperatura ambiente elevadas e outras condições especiais podem requerem medidas adicionais. Exigências especiais devem ser satisfeitas onde são usados metais leves para invólucros, conectores, condutores e tubulações.

Os instrumentos elétricos devem ser sujeitos a testes específicos feitos por laboratórios independentes para estabelecer se os documentos técnicos (descrição e desenhos) e protótipos testados estão de conformidade com as normas respectivas.

Testes típicos incluem:

1. Queda e impacto para garantir a resistência mecânica necessária de invólucros, conectores e caixas
2. Resistência de superfície e resistência termal de materiais plásticos (isolantes elétricos)
3. resistência à luz para peças plásticas transparentes,
4. teste de dureza para materiais selantes.
5. Proteção contra carga eletrostática
6. Resistência ao choque termal das partes de vidro das luminárias e janelas de inspeção e mostradores.

A faixa de temperatura geral para a aplicação de equipamento protegido contra explosão é definida como -10 a +40 ^{o}C. Desvios permissíveis, aumentando ou restringindo a faixa de temperatura devem ser especificados.

Os parâmetros determinados à temperatura de +20 ^{o}C em laboratório se aplicam para uma faixa de temperatura de -10 a +60 ^{o}C. Esta faixa de temperatura considera a situação no local de trabalho e também, certo aquecimento do equipamento quando em operação. A pressão de explosão, valores dos espaçamentos permissíveis e as correntes de não ignição permissíveis variam fora desta faixa de temperatura.

Um equipamento elétrico para uso em área classificada deve ter uma marcação adicional que o identifique como tal e é chamado genericamente de instrumento Ex (protegido para evitar explosão).

2. Princípios Gerais

2.1. Introdução

As proteções contra explosão dos equipamentos e instrumentos elétricos são modificações aplicadas durante o projeto e a fabricação para evitar que o equipamento provoque ignição na atmosfera ambiente explosiva.

Na maioria das aplicações, reduzir o perigo de explosão significa reduzir a probabilidade de danos significativos as instalações ou perda de vidas humanas, como resultado de explosão ou incêndio em produtos inflamáveis, provocados pelos instrumentos elétricos da área. Sob o ponto de vista de perigo industrial, o incêndio é mais catastrófico que a explosão isolada. Infelizmente, muitos incêndios são provocados ou começam com uma explosão.

Esse trabalho enfatiza a relação entre o uso de instrumento elétrico e a segurança de uma planta que possui materiais inflamáveis. O objetivo de reduzir o perigo é assegurar que a adição do instrumento elétrico a uma instalação não aumenta significativamente a probabilidade de ocorrer uma explosão, provocada pelo instrumento elétrico.

Quando existe um material combustível pode haver explosão ou incêndio. Mesmo que não haja a presença humana, mesmo que não seja usado o equipamento elétrico, em alguma ocasião, uma fonte de ignição pode aparecer e provocar uma combustão. A probabilidade de

haver fogo ou explosão nunca é absolutamente zero se uma substância combustível é frequentemente presente. Do mesmo modo. a probabilidade de explosão nunca é absolutamente igual a zero se uma fonte de ignição está frequentemente presente. Eventualmente, um material combustível pode também estar presente, provocando então um incêndio ou explosão.

Por isso é comum haver o incêndio de um escritório, que no presente trabalho é considerado um local seguro. Embora não possua material inflamável, ele possui continuamente fontes de energia e de ignição, como a alimentação elétrica dos condicionadores de ar, luminárias, motores. Analogamente, é freqüente incêndios em postos de gasolina, onde constantemente há a manipulação de materiais combustíveis, como gasolina, álcool, óleo diesel. Basta haver a conjunção de uma fonte de energia, elétrica ou térmica, para provocar o incêndio ou explosão.

A redução do perigo não é portanto, um exercício de números absolutos. É um assunto de baixas probabilidades e, especialmente, incremento de baixas probabilidades. O princípio básico e fundamental da redução do perigo, através de técnicas alternativas de segurança, é o de fornecer, no mínimo, dois eventos independentes, cada um com baixa probabilidade. Assim, a probabilidade final que ambos ocorram simultaneamente é praticamente zero.

Algumas técnicas de proteção apresentadas se aplicam também a instrumentos de potência e a motores, geradores e iluminarias; outras se aplicam apenas em componentes. Por questão de completude e analogia, serão mostrados todos os métodos.

Como visto, a explosão é uma combustão não desejada e não controlada de uma mistura especifica de gás inflamável com ar. Os vértices do triângulo de combustão são:

1. o combustível
2. o comburente ou o oxidante
3. a fonte de ignição, termal ou elétrica

Como não há triângulo com apenas dois vértices, também não há combustão sem a ocorrência simultânea dos três parâmetros. Confiando-se nesses pressupostos e definições, foram desenvolvidas todos os meios possíveis e alternativos de tornar seguro o uso de instrumentos elétricos em áreas perigosas.

As técnicas de segurança são apresentadas e conceituadas segundo dois critérios principais:

1. há explosão, porém ela é confinada e controlada
2. não há explosão.

Evita-se a explosão cuidando da:

1. Fonte de ignição
2. Mistura gasosa

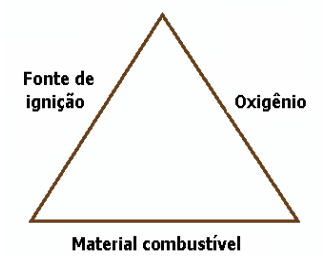


Fig. 4.1. Triângulo da combustão

De acordo com as normas IEC 60 079 e DIN EN 50 014 (VDE 0170/171), o equipamento protegido contra explosão pode ser construído para satisfazer as exigências de cada tipo específico de proteção, tais como:

1. Exigências gerais, EN 50 014
2. Imersão em óleo, Ex-o, EN 50 015
3. Prova de chama, Ex-d, EN 50 0158
4. Pressurização, Ex-p, EN 50 016
5. Enchimento de areia, Ex-q, EN 50 017
6. Encapsulamento, Ex-m, EN 50 018
7. Segurança aumentada, Ex-e, EN 50 019
8. Segurança intrínseca, Ex-i, EN 50 020
9. Não acendível, Ex-n, EN 50 021
10. Hermeticamente selado, Ex-h
11. Proteção especial, Ex-s

2.2. Proteção primária

Um modo lógico, simples, claro e imediato de evitar a explosão é eliminar a atmosfera potencialmente explosiva, com a substituição das substâncias inflamáveis ou do oxigênio da atmosfera ou pela redução da composição da mistura a um ponto onde não há perigo de se formar uma atmosfera potencialmente explosiva.

Substituição de produtos

Substâncias inflamáveis devem, sempre que possível, serem substituídas por substâncias que não sejam capazes de forma uma mistura explosiva.

Geralmente é possível substituir a substancia combustível com um material que

seja ou incombustível ou incapaz de formar uma atmosfera explosiva. Os principais meios substitutos são:

1. Soluções aquosas
2. Hidrocarbonatos halogenados incombustíveis e
3. Materiais incombustíveis

Alteração da composição da mistura

A formação de uma atmosfera explosiva pode ser evitada se for possível limitar a concentração de uma substância para a faixa abaixo do mínimo ou acima do máximo limite explosivo.

Isto pode ser freqüentemente conseguido com gases. A dificuldade aumenta no caso de vazamentos de gases ou se a faixa de ignição pode ser ultrapassada quando a planta parte ou é desligada.

Com líquidos, a concentração é usualmente mantida abaixo do limite inferior explosivo, pois isto requer muito menor esforço.

Tais medidas não podem ser aplicadas a pós, desde que é praticamente impossível atingir uma distribuição adequada.

Substituir o oxigênio atmosférico não é uma boa opção para áreas habitadas. Por este motivo, as medidas disponíveis para estes locais se limitam a:

1. Evitar ou restringir as substâncias que são capazes de formar uma atmosfera potencialmente explosiva.
2. Evitar ou restringir a liberação de substâncias inflamáveis e portanto a formação de mistura potencialmente explosiva, tanto dentro como em torno de conexões, por
   - Limitando sua concentração
   - Usando invólucros cheios de material inerte
   - Ventilação natural ou artificial
   - Monitorando concentração por meio de um sistema de detecção de gás que fornece alarme ou intertravamento do sistema.

Observância do ponto de fulgor

Aqui se podem ter dois procedimentos distintos: aumentar o ponto de fulgor da substância inflamável ou abaixar a temperatura do processo.

O ponto de fulgor de um líquido inflamável deve ser, no mínimo, 5 ^{o}C acima da temperatura do processo ou a temperatura do ambiente. No caso de substâncias inflamáveis solúveis em água, isto pode ser conseguido acrescentando-se água.

Com a diminuição da temperatura do processo, é necessário aplicar medidas técnicas (por exemplo, esfriar) para garantir que a temperatura de processamento esteja sempre, no mínimo, 5 a 10 ^{o}C abaixo do ponto de fulgor. É, porém, necessário manter falhas, vazamentos, paradas e outros fatores de influência sob controle.

Uso de sistemas selados

Instalações projetadas como sistemas selados, em que os materiais combustíveis estão presentes, têm a vantagem que nenhum gás ou vapor pode escapar.

Medidas para conseguir sistemas selados são:

1. Processos contínuos
2. Tubulação de compensação de gás
3. Equalização da pressa em um local seguro na abertura
4. Entrada através de bloqueios de ar

Monitoração da concentração

Dependendo das condições do local, os vazamentos podem ser detectados em um estágio inicial pela monitoração da concentração de gases, vapores e névoas inflamáveis na vizinhança de possíveis fontes de risco (pontos de vazamento), de modo que as medidas necessárias de segurança podem ser implementadas imediatamente, tais como ventilação de emergência, sistema de desligamento de parte da planta de falha segura.

Inertização

Se a proporção de oxigênio em uma mistura é menor que 10%/vol, então, como uma regra geral, uma mistura explosiva não existe. Para se atingir tal proporção baixa, substâncias gasosas inertes, tais como nitrogênio, dióxido de carbono, vapor d'água ou hidrocarbonos hidrogenados são adicionados à mistura até a concentração desejada ser atingida.

Se a percentagem por volume do gás inerte para o gás inflamável estiver na relação mínima de 25:1, uma atmosfera explosiva não pode se formar, independente da quantidade de ar adicionada.

Inertizar o equipamento significa substituir parte do oxigênio no ar em um volume restrito com gases inertes. Muitas misturas combustível/ar não são mais capazes de ignição quando o conteúdo de oxigênio ficar abaixo de 8% em volume (para o hidrogênio e monóxido de carbono, abaixo de 4% em volume). Os gases disponíveis comercialmente geralmente usados para inertizar são o nitrogênio (N_2) e o dióxido de carbono (CO_2).

O oxigênio é deslocado em dois estágios:

1. purgando o container ou instalação antes do início da operação ou processo, por exemplo, pela evacuação seguida pela substuição seguindo o vácuo com nitrogênio
2. mantendo a concentração de oxigênio conseguida pela purga ou substituição de qualquer perda do gás inerte durante a operação ou processo.

A não ser que a inertização de equipamento de produção ou tanques seja garantida pela condição do processo, ela deve ser verificada e monitorada com um dispositivo medidor de oxigênio, por exemplo.

Ventilação

A formação de uma atmosfera explosiva perigosa pode ser evitada ou restringida por ventilação. Em salas acima do nível da terra e sem ventilação especial, o ar é renovado por ventilação natural uma vez por hora. Para efeito de comparação, a troca de ar em salas levam até 2,5 horas. A concentração da mistura pode, porém, somente se calculada, se a quantidade de escape por unidade de tempo de uma substância inflamável é conhecida e se uma distribuição uniforme puder ser assumida.

As condições de vazão natural em uma sala podem se estabelecidas por um especialista em ventilação, que irá recomendar uma ventilação artificial. Comparada com a ventilação natural, a ventilação artificial garante a troca de maiores quantidades de ar e uma vazão de ar mais cuidadosamente dirigida. Mais ainda, a concentração ocorrendo pode ser determinada com um muito maior grau de confiabilidade. Por outro lado, a desvantagem de uma ventilação por meios técnicos é que ela necessita de manutenção constante. Além disso, devem ser tomadas precauções para o caso da instalação operar em uma saída mais baixa ou mesmo falha.

Medidas de ventilação podem ter o efeito de reduzir grandemente o tamanho da área de perigo de explosão na vizinhança de instalações, equipamentos e assemelhados.

A ventilação pode ser fornecida em vários modos:

1. Ventilação natural
2. Ventilação artificial, e.g., ventilação de sala de controle
3. Extração na fonte

A ventilação artificial é requerida:

1. Quando manipulando ou processando materiais combustíveis que possam formar uma atmosfera explosiva em um sistema não fechado e
2. Para o armazenamento de líquidos combustíveis com um ponto de fulgor abaixo de 30 ^{o}C e gases inflamáveis mais pesados que o ar em salas subterrâneas.

A ventilação artificial é necessária porque ela fornece uma vazão de ar mais direta e mais focalizada do que a ventilação natural.

Extração na fonte é geralmente preferível à ventilação artificial de sala porque ela é mais efetiva e mais barata. Isto se aplica especialmente ao manuseio de pós combustíveis.

As medidas de ventilação que são necessárias para proteger a saúde geralmente também satisfazem as exigências da proteção contra explosão.

2.3. Proteção secundária

Depois que todas as possibilidades de proteção primária contra explosão forem aplicadas, pode haver ainda áreas onde ocorram atmosferas explosivas perigosas. Estas áreas são chamadas áreas perigosas ou atmosferas potencialmente explosivas. Proteção secundaria contra explosão são medidas protetivas contra ignição que tornam as fontes de ignição ineficientes. A proteção secundária contra explosão engloba todos os equipamentos elétricos para uso em áreas perigosas.

Estas medidas ainda se referem ao triângulo do perigo. Na proteção primária, eliminava-se a substância inflamável ou alterava-se a composição da mistura para valores seguros. Na proteção secundária, cuida-se de eliminar as fontes de ignição.

Explosão Controlada

Na classe da previsão e ocorrência da combustão, são considerados os dois métodos:

1. ignição contínua (flare), onde a presença de uma ignição localizada e pequena evita o aparecimento de uma grande ignição incontrolável.
2. prova de explosão ou prova de chama, onde a explosão é confinada no interior de uma caixa robusta ou a chama interna é resfriada quando se propaga para fora a uma temperatura baixa segura. A superfície externa é mantida abaixo da temperatura de auto-ignição da mistura especifica de gás envolvida.

Eliminação da fonte de ignição

Exemplos de fontes de ignição efetivas são chamas ao vivo, superfícies quentes, faíscas elétricas, eletricidade estática e reações exotérmicas (que causam a liberação de grandes quantidades de energia). Devem-se tomar medidas efetivas para evitar faíscas ou temperaturas muito elevadas. No caso de

equipamento elétrico, o objetivo é conseguido pela instalação e uso somente de equipamento certificado que seja adequado para a área perigosa em questão.

As fontes de ignição que são causadas por faíscas de atrito ou impacto ou de cargas eletrostáticas devem ser evitadas em equipamento protegido contra explosão, pela seleção de um material apropriado e por medidas de construção e isto deve ser verificado e confirmado por testes apropriados, feitos em laboratórios credenciados.

Uma precondição importante para todos os princípios de proteção é que as partes que estão em contato com atmosferas potencialmente explosivas devem ser incapazes de atingir temperaturas não permitidas, que dependem da temperatura de ignição. Isto significa que a temperatura de ignição é importante para todos os princípios de proteção.

Os princípios de proteção podem ser aplicados igualmente a equipamentos elétricos e não elétricos e para gases e para pós.

Prevenção de explosão

Equipamento protegido contra explosão é capaz de excluir uma das precondições para uma explosão – a fonte de ignição – e é deste modo uma contribuição importante para proteção contra explosão. Em áreas domesticas, medidas relativas à construção garantem que normalmente uma atmosfera explosiva não se forma. A restrição consciente destas medidas, e.g., a vazão pretendida e desempedida de gases inflamáveis ou uma redução na ventilação podem levar a uma explosão se uma fonte de ignição também estiver presente.

O modo mais simples e fácil para entender explosão pequena e segura é olhando uma lanterna a gás. Quando o bocal da lanterna é aberto, ele libera uma pequena quantidade de gás inflamável. Este gás se mistura com o ar vizinho, a faísca provoca a ignição da mistura e um fraco som é ouvido – a queima. Algumas distância do bocal, a proporção do gás inflamável é já tão baixa que a explosão e a chama são restritas a vizinha próxima. Em outras palavras, o projeto da lanterna de gás garante que ela seja segura para usar.

O efeito de uma explosão em espaços fechados e sob condições não atmosféricas é geralmente mais poderoso. Deve-se pensar na aplicação útil de explosões em motores de veículos.

A efetiva preventiva proteção contra explosão para explosões não controladas, indesejadas e muito perigosas pode somente ser conseguida pela remoção de um dos três componentes.

A maioria dos produtos evita o efeito das fontes de ignição onde a eletricidade está sendo usada em uma atmosfera potencialmente explosiva e, deste modo, é efetiva em evitar explosões, porque os outros componentes – em locais de trabalho o oxigênio no ar e geralmente as substâncias inflamáveis – não podem ser excluídas de modo confiável e permanente.

Explosão Evitada pela Fonte

Na mesma linha de raciocínio, são apresentados os conceitos básicos relativos aos métodos de segurança que previnem e evitam a explosão, que basicamente podem ser agrupados em duas opções distintas:

1. controle da fonte de ignição
2. controle da atmosfera inflamável

No primeiro grupo, cuidado da fonte de ignição, são considerados os conceitos:

1. segurança intrínseca, onde o nível de energia disponível na área perigosa não é suficiente para provocar a ignição da mistura perigosa em condições normais e anormais especificas,
2. equipamentos não-incenditivos, onde o nível de energia disponível na área perigosa não é suficiente para provocar a ignição da mistura perigosa em condições normais.
3. segurança aumentada, onde o projeto e a disposição dos componentes evita o aparecimento de faíscas e arcos voltaicos.

Explosão Evitada pela Mistura

Na segunda categoria, quando se cuida do controle da atmosfera inflamável, são apresentadas as seguintes técnicas de segurança, não necessariamente aplicáveis a instrumentos de controle completos:

1. purga ou Pressurização, onde uma pressão positiva ou vazão contínua de um gás inerte impede o contato da mistura inflamável com a fonte de energia. A fonte elétrica fica isolada da mistura gasosa perigosa.
2. encapsulamento, quando o componente ou circuito é envolvido por uma resina que impede a formação de faíscas ou o desenvolvimento de alta temperatura.
3. imersão em óleo, quando o óleo evita o aparecimento de faíscas perigosas que possam entrar em ignição a mistura gasosa,
4. enchimento de areia, quando um material finamente dividido em pó impede o aparecimento de faíscas

perigosas que possam flamar a mistura gasosa
5. selagem (*potting*), quando se evita o contato íntimo entre a fonte perigosa com a mistura inflamável através de material inerte,
6. respiração restrita, técnica especial que impede a mistura inflamável atingir os limites perigosos de inflamabilidade. O processo mantém a mistura ou muito rica ou muito pobre e incapaz de se flamar ou explodir.
7. segregação, onde se evita a explosão usando um instrumento sem fonte perigosa de energia, como o mecânico ou pneumático, ou somente usando o instrumento elétrico em local garantidamente seguro e isento de atmosferas inflamáveis ou explosivas.

3. Parâmetros para seleção

As três técnicas principais de proteção aplicadas a instrumentos e equipamentos industriais são:

1. segurança intrínseca,
2. prova de explosão ou de chama
3. purga ou pressurização.

Com relação a estas três proteções, é comum se fazer uma comparação, quando são confrontados os parâmetros de:

1. segurança
2. custos de equipamentos
3. custos de instalação
4. manutenção
5. flexibilidade

3.1. Segurança

Quando se considera a segurança em si, não faz muito sentido questionar qual é a mais segura. Qualquer técnica de segurança, quando satisfaz todas as exigências da norma, instalada corretamente e mantida adequadamente oferece segurança. Quando se determina a probabilidade de ocorrência de ignição através de analise matemática, pode-se encontrar números como 10^{-7} para invólucros à prova de explosão e 10^{-17} para segurança intrínseca. Embora à primeira vista isto possa parecer muito diferente e a técnica de segurança intrínseca muito mais segura que a de prova de explosão, na prática, ambas as técnicas são igualmente seguras. Estatisticamente, nenhuma caixa à prova de explosão foi causa de qualquer explosão industrial. A probabilidade de sua ocorrência em 10^{7} é um intervalo de mais de 50 anos de uso. Na prática ela é considerada segura.

Mesmo com essa consideração, a segurança intrínseca é considerada a mais segura de todas as técnicas, pois é a que menos depende de falha humana. O operador ou o instrumentista de manutenção deve fazer muita coisa anormal para conseguir eliminar a segurança oferecida pelo sistema intrinsecamente seguro. A pessoa precisa fazer erro grosseiro e visível de fiação ou mesmo destruir o equipamento que estabelece o nível limitado de energia.

Um invólucro à prova de explosão perde sua segurança quando está sem a tampa ou quando os espaçamentos estão danificados ou arranhados. Se o pessoal de manutenção não entende ou não acredita por que deve haver tantos parafusos para manter uma tampa firme - e deixa um único parafuso de fora, a caixa perdeu sua segurança.

Na pressurização o elemento humano é ainda mais importante, pois o sistema requer manutenção e depende menos do projeto e mais da instalação. Por causa desta maior dependência do fator humano, o sistema de pressurização é considerado o menos seguro dos três.

3.2. Custo do Equipamento

O custo direto do equipamento é o mais fácil de ser quantificado. A técnica de Pressurização possui o menor custo de equipamento pois é permitido o uso de instrumentos de uso geral, sem nenhuma técnica adicional individual. O custo extra se refere apenas a algumas etiquetas e as entradas e saídas de exaustão para o gás inerte.

O equipamento com invólucro à prova de explosão tem um custo maior, por causa das exigências de maior robustez e de espaçamentos com comprimentos e larguras críticos.

O sistema intrinsecamente seguro também tem um custo adicional para satisfazer os cuidados especiais de projeto e disposição dos componentes e há ainda o custo real das barreiras zener ou unidades de isolação.

3.3. Custo da Instalação

Sob o ponto de vista de custo de instalação, o da segurança intrínseca é o mais baixo. A fiação da segurança intrínseca difere muito pouco de uma fiação de uso geral.

A instalação de prova de explosão possui custo mais elevado, pois devem ser usados conduítes e prensa cabos especiais à prova de explosão.

A instalação protegida por Pressurização é a mais cara das três. Deve haver um sistema

completo de dutos conduzindo o gás inerte. Os equipamentos de salvaguarda, quando necessários, como chaves, temporizadores, indicadores e alarmes de pressão ou vazão encarecem a instalação do sistema.

3.4. Manutenção

A manutenção segue os custos da instalação. A segurança intrínseca possui a vantagem da manutenção "viva" (sem desligamento da energia). O uso de componentes mais confiáveis resulta em menor taxa de defeitos e falhas, no mínimo nas portes relacionadas com a segurança.

As caixas à prova de explosão requerem maior nível de manutenção e inspeção. A manutenção só pode ser feita com o equipamento desligado ou com a ausência comprovada da mistura perigosa no local.

O sistema pressurizado é o mais exigente de manutenção e cuidado, pois inclui os sistemas de dutos do gás inerte e de equipamentos de salvaguarda (pressostatos, temporizadores, chaves fim de curso).

3.5. Flexibilidade

Com relação à flexibilidade, o sistema melhor é o pressurizado. A Pressurização de gás inerte vale para qualquer tipo de mistura perigosa. O sistema elétrico protegido é de uso geral e sem restrições.

O sistema com segurança intrínseca é o menos flexível de todos. Ele requer a aprovação do sistema completo ou então, no conceito de entidade, há limitações impostas nos parâmetros armazenadores de energia (capacitância e indutância) e nos níveis de potência (tensão e corrente). Qualquer modificação deve ser analisada individualmente e aprovada.

O invólucro à prova de explosão depende da classe e grupo da mistura inflamável do local.

3.6. Parâmetros técnicos

Divisão em grupos de explosão

As técnicas de proteção de prova de explosão e de segurança intrínseca dependem do tipo especifico da mistura gasosa perigosa (Classe e Grupo). Nestes sistemas, os equipamentos elétricos devem ser classificados para determinada área classificada (Classe, Grupo e Zona). Pode-se ter instrumento à prova de explosão adequado para uso em um local (Classe I, Grupos C e D) e impróprio para uso em local diferente (Classe I, Grupos A e B). As outras técnicas de proteção, como purga, selagem, imersão em óleo, independem do tipo da mistura. Porém, deve-se considerar com cuidado os sistemas híbridos, que associam dois tipos de proteção. Por exemplo, o sistema de purga que possua equipamentos elétricos de salvaguarda com proteção de prova de explosão depende do tipo da mistura gasosa.

Não seria econômico construir todos os equipamentos protegidos contra explosão para satisfazer as mais rigorosas exigências com relação à temperatura de ignição. Por isso, os equipamentos elétricos são divididos em grupos de explosão e classes de temperatura.

Grupo I: compreende equipamentos elétricos para minas subterrâneas que são susceptíveis ao perigo do metano, como minas de carvão.

Grupo II: compreende os equipamentos elétricos para todas as outras áreas perigosas.

Força explosiva

Uma subdivisão em A, B e C é prescrita para alguns tipos de proteção para os equipamentos elétricos do grupo II. Para invólucros à prova de chama, é baseado no máximo espaçamento experimental seguro (MESG) e para equipamentos intrinsecamente seguros, na mínima corrente de ignição (MCI).

Máximo espaçamento experimental seguro (MESG)

No caso de equipamento elétrico em que arcos e faíscas ocorrem durante a operação normal, uma atmosfera explosiva que tenha penetrado no invólucro pode entrar em ignição. Porém, a propagação de uma ignição já iniciada de dentro do invólucro para a atmosfera circundante pode ser evitada, se a chama for forçada a passar através de espaçamentos estreitos. Quando a chama passa através do espaçamento, o calor é retirado da chama e a temperatura é reduzida a um valor que a combustão não mais ocorre e a chama é extinta. Com equipamento elétrico do tipo de proteção invólucro à prova de chama, a classificação dos gases e vapores baseada no máximo espaçamento experimental seguro (MESG) é estabelecida em vasos de teste com um espaçamento de 25 mm. O vaso de teste descrito na norma IEC 60 079-1A deve ser usada como o método padrão para determinar o MESG.

Um valor análogo é encontrado quando a facilidade de ignição por um jato de gás quente fluindo agraves de um espaçamento é usado para a classificação. Na IEC 60 079-1A, *Determinação do espaçamento experimental seguro*, um equipamento de teste é especificado, em que um volume esférico de gás de 20 cm^3 é fechado entre dois

hemisférios. Eles são equipados com um flange de 25 mm. Este objeto esférico é colocado em um grande vaso e ambos os espaços são cheios com a mistura para a qual o espaçamento seguro deve ser determinado. O espaçamento entre os flanges de 25 mm para que dez ignições dentro do volume esférico deixam de provocar ignição na mistura no vaso externo é o valor especifico para a mistura e é chamado de máximo espaçamento experimental seguro.

O processo envolvido em evitar ou propagar a explosão no espaçamento é muito complexo. Classificando os gases e vapores pelo espaçamento seguro resulta aproximadamente na mesma classificação obtida com a mínima corrente de ignição. A norma IEC/TR 60 079-12 fornece uma visão geral da classificação usando os dois métodos de medição, MESG e MCI.

O valor do espaçamento seguro é muito importante para projetos de invólucros com proteção de prova de chama, Ex-d. O valor para a mínima corrente de ignição é importante para os tipos de proteção de segurança intrínseca, Ex-i. Para estes dois tipos de proteção, os subgrupos IIA, IIB e IIC para gases e vapores são relevantes. A informação acerca de gases e vapores pode também ser aplicada aproximadamente a névoas.

Mínima corrente de ignição

Quando se trata dos equipamentos elétricos intrinsecamente seguros, gases e vapores são classificados de acordo com sua relação mínima corrente de ignição. Para provocar a ignição de uma atmosfera explosiva, a faísca de ignição deve conter um mínimo conteúdo de energia. O mínimo conteúdo da energia necessário é uma propriedade específica dos gases e vapores inflamáveis. Um critério para isto é relação da mínima corrente de ignição para a mínima corrente de ignição (MCI) do metano de laboratório. A MCI é determinada de acordo com um método padronizado e deve ser feito com equipamentos definidos na norma EN 50 020, anexo B.

Há certa correlação entre as larguras dos espaçamentos e a relação da mínima corrente de ignição. Para se poder classificar gases e vapores para satisfazer as exigências da proteção contra explosão, é, portanto, suficiente definir somente uma das duas propriedades para a maioria das misturas de gás e vapor com ar usadas na indústria.

A norma VDE 0170/171 estabelece a classificação de vários gases e vapores importantes de acordo com o valor do MESG e da MCI.

Grupos	MESG, mm	Relação da MCI
IIA	>0,9	>0,8
IIB	0,5 a 0,9	0,45 a 0,80
IIC	<0,5	<0,45

Relação mínima de ignição

A ignição em uma superfície quente ocorre em uma relativamente grande macroscópica parte da mistura. Em contraste, a ignição de uma faísca de esparrama em uma relativamente pequena microscópica parte do volume. A descarga de um capacitor ou a interrupção de um circuito elétrico resistivo e indutivo determinado pode ser usada para classificar gases e vapores ou pó de acordo com sua facilidade de ignição na parte microscópica do volume da mistura

Para o estabelecimento da ignição de gases e vapores em um circuito usando um dispositivo definido na IEC 60 079-11 é usado um valor comparativo com o metano como referência em um circuito padronizado. Este valor comparativo é a relação mínima de ignição, RMI. Ela é o meio usado para classificar gases e vapores dentro do grupo II de explosão nos subgrupos IIA, IIB e IIC.

Máxima temperatura de superfície

A mais alta temperatura conseguida em serviço sob as condições mais desfavoráveis por qualquer parte ou superfície de uma peça de equipamento elétrico.

As condições mais desfavoráveis incluem a sobrecarga admissível e condições de falha especificadas na norma para o tipo de proteção concernente. A máxima temperatura de superfície de uma peça do equipamento deve sempre ser menor que a temperatura de ignição da mistura do gás ou vapor em que o equipamento é usado. Se as superfícies aquecidas são isoladas, a máxima temperatura de superfície aplicável para o estabelecido é sempre a superfície aquecida relevante. Normalmente a isolação não é vedada a gás que pode provocar uma explosão na isolação.

Espaços em que tubulações de vapor e outros passam através de uma atmosfera explosiva são sujeitos às mesmas exigências.

Conteúdo de magnésio nas ligas

Por causa das possíveis faíscas causadas pelo impacto, as caixas de junção não podem conter mais que 6% de magnésio. A maioria dos invólucros no mercado é feita de ligas de alumínio $AlSi_{12}$. Por causa da boa qualidade, as caixas de poliéster facilmente satisfazem as exigências de temperatura e resistência a

impacto e por isso começam a substituir as caixas com metais leves.

4. Responsabilidades

As condições exigidas para a operação segura de equipamento elétrico em locais com atmosferas potencialmente explosivas são criadas com um esforço conjunto de fabricantes, projetistas, instaladores, operadores e mantenedores dos equipamentos elétricos com proteção contra explosão instalados nas plantas industriais.

4.1. Obrigações do fabricante

O fabricante deve desenvolver equipamentos elétricos para uso em atmosferas potencialmente explosivas mantendo os últimos desenvolvimentos tecnológicos, pelos quais as regulações específicas e genéricas sejam consideradas. Se especificado em normas, deve-se aplicar teste por um laboratório independente. As aprovações emitidas pelos fabricantes devem estar à disposição dos usuários.

É dever do fabricante fazer cada peça do equipamento elétrico de modo que ela esteja de conformidade com a documentação de teste e as amostras de teste. Finalmente, o fabricante é também obrigado a submeter cada peça fabricada do equipamento elétrico protegido contra explosão a teste e verificação de rotina e, depois de resultado bem sucedido do teste, deve marcar o equipamento de acordo. Se forem aplicadas condições especiais para o uso do equipamento, o fabricante deve fornecer ao instalador ou ao operador esta informação em uma forma conveniente junto com o equipamento.

4.2. Obrigações do instalador

Instalações elétricas em atmosferas potencialmente explosivas devem ser feitas de conformidade com as normas e os últimos desenvolvimentos da tecnologia. A introdução da nova norma ElexV, de 13 DEZ 1996, significa que, dependendo das exigências respectivas, o instalador deve aplicar esta nova versão para atender a diretiva ATEX.

Além da norma definida para a instalação, VDE 0165 (1991): Montagem de instalações elétricas em atmosferas potencialmente explosivas, as regras geralmente reconhecidas da engenharia (diretivas VDE) também devem ser consideradas.

Assim, o instalador é obrigado a montar os equipamentos de acordo com a norma VDE 0165 e a VDE 100: montagem de subestações com tensões especificadas menores que 1000 V.

Se o instalador não é também o operador, ele deve emitir um certificado de instalação a pedido do operador. Este certificado confirma que a instalação elétrica está de acordo com as exigências da norma da ElexV. Se tal certificado é disponível, testes adicionais pelo operador antes do comissionamento não são mais necessários.

4.3. Obrigações do operador

É importante que o operador de tais plantas conheça como o perigo da explosão pode provavelmente aparecer e as medidas que são implementadas para garantir a segurança.

De acordo com a norma ElexV , o operador é obrigado a ter as instalações elétricas em áreas perigosas de sua planta verificadas por um engenheiro eletricista qualificado com relação a sua própria condição, antes do comissionamento (desnecessário se houver um certificado do instalador) ou em intervalos regulares.

Aqui, com relação às exigências operacionais, o operador deve calcular os intervalos de tal modo que qualquer falha que ocorra seja logo verificada e corrigida. Os testes devem, porém, ser feitos, no mínimo, a cada três anos. Fazer testes em intervalos regulares pode somente ser omitido se as instalações estiverem sob constante supervisão de um engenheiro responsável. Se requerido pela autoridade competente, um registro do teste com entradas especificadas deve ser mantido.

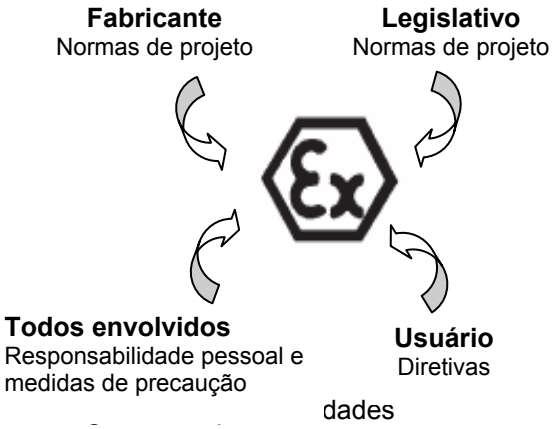
De acordo ainda com a norma ElexV (§ 13) é obrigação do operador manter uma instalação elétrica em uma atmosfera potencialmente explosiva em um estado adequado, para operá-la de acordo, para monitorá-la constantemente e para executar qualquer reparo necessário ou medidas de manutenção imediatamente.

Finalmente, é também dever do operador garantir que a instalação elétrica esteja operando corretamente.

O operador deve reportar qualquer explosão causada pela operação da instalação para as autoridades competentes ((§ 17 da ElexV), independente de ter havido ou não algum dano. Ignições no interior de invólucros à prova de chama que não tenham propagado para fora obviamente não precisam ser relatados.

A autoridade de controle tem o direito de requerer a submissão de um certificado especial de um especialista, à custa do operador. O objetivo deste laudo do

especialista é verificar a causa do dano e, se aplicável, determinar qualquer segurança adicional requerida pela instalação.



dades

responsabilidade dos empregados individuais é também claramente dispersada. Mas deve se tomar ação adicional para aumentar a segurança do local de trabalho. As seguintes medidas, que foram provadas como efetivas, devem ser implementadas:

1. Manutenção relativa à segurança, monitorando e mantendo o equipamento e as instalações
2. Marcando as áreas com atmosferas potencialmente explosivas
3. Preparando manuais de instrução para as instalações e equipamento
4. Emitindo permissões de trabalho antes de fazer qualquer reparo ou certas atividades (como solda).
5. Documentando e mantendo atualizada a classificação da área industrial, que é dinâmica.
6. Ministrando cursos aos empregados em intervalos regulares sobre proteção contra explosão, regras internas da empresa e instruções de operação.

4.4. Medidas organizacionais

Como os sistemas de garantia da qualidade se tornam cada vez mais comuns, a

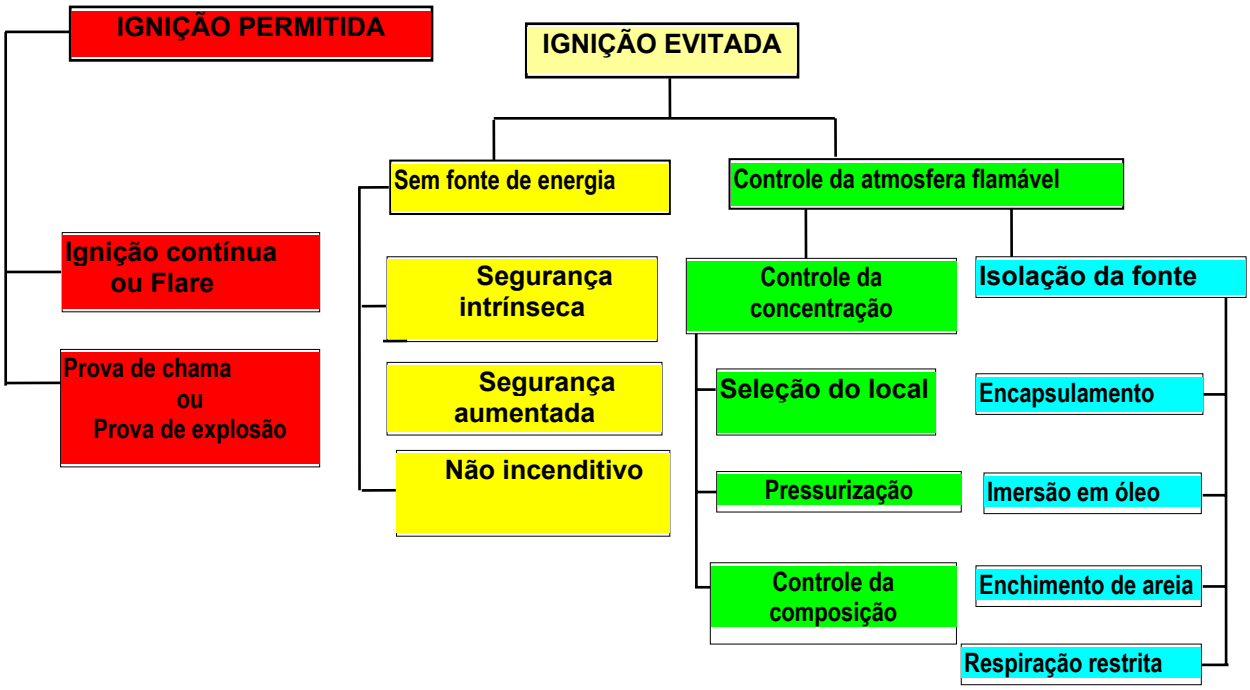


Fig. 4.3. Visão geral das técnicas de proteção de instrumentos, equipamentos e equipamentos elétricos

Tab. 4.1. Visão geral

Princípios de proteção	Substâncias inflamáveis	Tipos de proteção	Categoria
Misturas potencialmente explosivas podem penetrar no equipamento elétrico e entrar em ignição. Medidas são tomadas para garantir que a explosão não se espalhe na atmosfera vizinha	Gases	Invólucro à prova de chama ou de explosão	2
		Enchimento de areia	2
		Disjuntor fechado	3
O equipamento é provido de um invólucro que evita o ingresso de uma mistura potencialmente explosiva ou o contato com fontes de ignição que aparecem em operação normal	Gases e pó	Equipamento pressurizado	2
		Encapsulamento	2
	Gases	Imersão em óleo	2
		Invólucro com respiração restrita	3
		Componente não acendível	3
		Equipamento hermeticamente selado	3
		Equipamento selado	3
		Equipamento encapsulado	3
		Pressurização n	3
	Pó	Proteção pelo invólucro	2
Mistura potencialmente explosivas podem penetrar no invólucro mas não pode entrar em ignição. Faíscas e temperatura capazes de provocar ignição devem ser evitadas	Gases	Segurança aumentada	2
		Equipamento não faiscador	3
		Proteção por segurança de construção	2
Mistura potencialmente explosivas podem penetrar no invólucro mas não pode entrar em ignição. Faíscas e temperatura capazes de provocar ignição podem ocorrer somente dentro de certos limites	Gases e pó	Circuito de energia limitada	3
	Gases	Segurança intrínseca	2
		Proteção por controle da fonte de ignição	3

Tab. 4.2. Tipo de proteção e equipamento para gás ou pó

	Gás /vapor	Gás /vapor	Pós
Tipo de proteção contra ignição	Equipamento elétrico	Equipamento não elétrico	Equipamento elétrico
Invólucro à prova de chama	X	X	
Disjuntor fechado	X		
Componente não acendível	X		
Equipamento pressurizado	X	X	X
Pressurização n	X		
Enchimento de areia	X		
Imersão em óleo	X	X	
Segurança aumentada	X		
Equipamento não faiscador	X		
Encapsulamento	X		X
Equipamento hermeticamente selado	X		
Equipamento selado	X		
Proteção por invólucro			X
Segurança intrínseca	X		X
Circuito com energia limitado	X		
Invólucro com respiração restrita	X	X	
Proteção por segurança na construção		X	
Proteção por controle da fonte de ignição		X	

Tab. 4.3. Tipos de proteção e zona

Tipo de proteção	**Uso zona**		
Invólucro com enchimento de óleo – o - EN 50 015, IEC 60 079-6		1	2
Invólucro pressurizado – p EN 50 016, IEC 60 079-2		1	2
Invólucro com enchimento de areia – q - EN 50 017, IEC 60 079-5		1	2
Invólucro à prova de chama – d - EN 50 181, IEC 60 079-1		1	2
Segurança aumentada – e EN 50 019, IEC 60 079-7		1	2
Segurança intrínseca – i EN 50 020[1], IEC 60 079-111	0	1	2
Encapsulamento – m - EN 50 019, IEC 60 079-7		1	2
Sistemas intrinsecamente seguros EN 50 039[1], IEC 60 079-25	0	1	2
Material não faiscador – n EN 50 021, IEC 60 079-15		1	2

Nos casos de invólucro à prova de chama e segurança intrínseca, tomar nota dos Grupos IIA, IIB e IIC (Ver EN 50 014 e IEC 60 079-0, Anexo A, classificação de gases e vapores de acordo com seu espaçamento máximo de experimental de segurança [MESG] e sua corrente de ignição mínima (MIC.)

Tab. 4.4. Zonas e tipos de Proteções

Zona	Riscos de gás ou vapor	Riscos de pó
Zona 0	Sistema intrinsecamente seguro, tipo ia	Sistema intrinsecamente seguro, tipo ia
Zona 1	Invólucro à prova de chama	Sistema intrinsecamente seguro, tipo ia ou ib
	Sistema intrinsecamente seguro, tipo ia ou ib	Pressurização ou purga
	Proteção do tipo especial, "s"	Certos tipos de invólucros
	Pressurização ou purga	
	Proteção do tipo "e"	
Zona 2	Qualquer método para Zona 1	Sistema intrinsecamente seguro, tipo ia ou ib
	Proteção do tipo "N"	Pressurização ou purga
	Aprovado para zona 2	Certos tipos de invólucros
	Proteção do tipo "e"	
	Equipamento não-faiscador	
	Equipamento totalmente vedado	

Tab. 4.5. Proteções, marcações e normas aplicáveis

Tipo de Proteção	Ex	IEC	NBR	EUA
Uso geral		79-0	9518	NEC
Prova de explosão ou de Chama	d	79-1	5363	UL 698/886
Segurança aumentada	e	79-7	9883	Não aceita
Segurança intrínseca	i	79-11	8446/8447	NFPA 493/UL 913
Hermeticamente selado	h	3-36		FM 3610
Encapsulamento (*potting*)	m	79-5		EN 50017
Não incenditivo (*no-sparking*)	n	31-49	Não aceita	
Imersão em óleo	o	79-6	8601	UL 698
Pressurização ou Purga	p	79-2 e 79-13	169	NFPA 496 e ISA 12.4
Enchimento de areia	q	79-5		Não aceita
Especial	s			
Placa protegida				
Respiração restrita		Suíça BS 4137		
Instalação		79-14	158	NFPA 70 e ISA RP 12.6

5. Técnicas Comerciais

5.1. Introdução

Além das três técnicas clássicas de proteção, já vistas, como prova de explosão, purga e segurança intrínseca, há ainda:

1. técnicas de proteção ainda não muito conhecidas e usadas ou com aplicações restritas a locais de zona 2,
2. técnicas aplicadas ao ambiente que protegem todos os equipamentos localizados nele,
3. técnicas de proteção que são impraticáveis de aplicação em instrumentos inteiros, mas, são úteis quando aplicadas a componentes e a peças dos instrumentos e
4. técnicas que não se aplicam a equipamentos que contenham peças móveis, mas são aplicáveis, com grande utilidade e tradição, em equipamentos elétricos de alto potencial, como nos transformadores.

Tais métodos serão apresentados superficialmente, principalmente para fins de analogia e completude de raciocínio:

1. segregação
2. prova de chama
3. pressurização
4. segurança intrínseca
5. segurança aumentada
6. não-incenditivo
7. encapsulamento
8. hermeticamente selado
9. imersão em óleo
10. enchimento de areia
11. proteção especial
12. respiração restrita
13. ignição continua ou flare

As técnicas mais importantes, prova de chama, pressurização, segurança intrínseca e segurança aumentada serão mostradas com maior profundidade em capítulos dedicados.

5.2. Segregação

Assim como o meio anticoncepcional mais eficaz possível é a abstenção sexual, o método mais eficaz e obvio de segurança é o de não usar instrumento elétrico em área perigosa. Ou se usar o instrumento elétrico, fazer a sua segregação do local perigoso.

As alternativas possíveis relacionadas com a segregação do instrumento eletrônico perigoso da área de risco são:

1. usar o instrumento elétrico em local seguro, quando possível.
2. usar instrumento pneumático, que é inerentemente seguro, para substituir o eletrônico no local perigoso.
3. usar tecnologias eletrônicas alternativas, como as ópticas e acústicas. É possível gerar, condicionar, processar e transmitir sinais compatíveis com a eletrônica através de fibras ópticas sem introduzir correntes e tensões perigosas nas áreas perigosas.

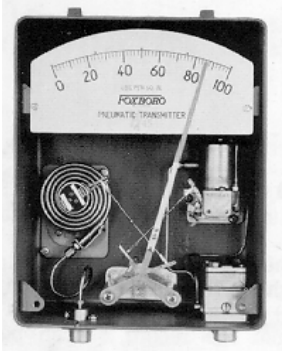


Fig. 4.4. Instrumento pneumático, seguro para uso em área classificada

5.3. Prova de chama ou de explosão

Princípio

O invólucro à prova de chama é aquele para um equipamento elétrico capaz de suportar uma explosão interna do gás ou vapor inflamável que pode entrar em seu interior, sem sofrer dano e sem provocar explosão no gás ou vapor externo – daí a denominação de prova de explosão. Se em vez de explosão houver uma ignição no interior do invólucro, haverá aberturas corretamente dimensionadas para esfriar a chama, de modo que ela seja inofensiva na atmosfera perigosa externa – daí a denominação de prova de chama.

No invólucro à prova de chama, é assumido que ocorre uma ignição ou explosão no seu interior, porém explosão ou a chama não irá passar para a atmosfera. Para isso, o invólucro deve ter uma robustez excepcional para suportar a pressão da explosão interna e ter aberturas e filetes de roscas convenientes para resfriar a chama interna.

Fig. 4.5. Conceito da proteção prova de explosão ou prova de chama

Parâmetros importantes

- Resistência mecânica de acordo com um fator de segurança definido para suportar a pressão da explosão interna.
- Como um valor de orientação, o invólucro é submetido a teste para garantir que o invólucro suporta 1,5 vez a pressão final da explosão.
- O invólucro possui espaçamentos em locais críticos, dimensionados em comprimento e espessura para esfriar a chama ou o gás quente fluindo para fora, tornando-a incapaz de provocar a ignição de qualquer atmosfera potencialmente explosiva externa.
- Os espaçamentos que evitam a transmissão da ignição são diferentes em espessura e comprimento para os subgrupos IIA, IIB e IIC. O subgrupo IIC requer espaçamento mais exigente: mais longo e mais estreito.
- Não existe nenhum invólucro à prova de chama para ambiente com acetileno.
- Os invólucros à prova de chama são classificados pela temperatura e pelo subgrupo do equipamento.
- Mesmo sendo complexos, são disponíveis comercialmente muitos instrumentos simultaneamente à prova de tempo e à prova de chama.

Aplicações

1. Motores elétricos e luminárias.
2. Equipamento onde, durante a operação normal, faíscas, arcos elétricos ou superfícies quentes são geradas, tais como disjuntores, coletores, comutadores, potenciômetros, fusíveis e lâmpadas.
3. Instrumentos com invólucros pequenos.

Locais permitidos

Os invólucros à prova de chama podem ser usados na Zona 1 e Zona 2. Eles não podem ser usados em Zona 0.

Marcação e normas

O invólucro à prova de chama ou de explosão é marcado como Ex-d.

Normas relativas à proteção Ex-d:
ABNT NBR 5363
IEC 60 079-1
EN 50 018 e prEN 13 463
UL 698/886

8.4. Pressurização ou purga

Princípio

A proteção contra explosão do tipo pressurização impede a entrada de uma atmosfera potencialmente explosiva vizinha no invólucro que contém o equipamento elétrico pela manutenção de uma pressão positiva dentro do tal invólucro.

A técnica de proteção de pressurização é também chamada de purga. Na pressurização, uma pressão positiva de ar ou gás inerte é mantida no interior do invólucro de modo que a mistura inflamável não pode entrar. Na purga, uma vazão de ar ou gás inerte é mantida através do invólucro, de modo que a atmosfera inflamável não se forma no interior do invólucro. No presente trabalho, se usará a palavra pressurização.

A pressão mínima recomendada pelas normas é de 50 Pa (0,5 mbar).

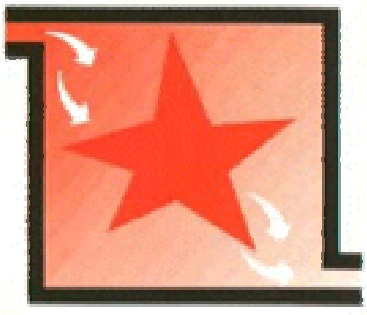


Fig. 4.6. Conceito da proteção de pressurização

Parâmetros importantes de projeto

1. A pressurização de locais habitados deve ser feita com ar comprimido de compressor localizado em área segura.
2. A pressurização de instrumentos e equipamentos pode ser feita com ar ou gás inerte (e.g., nitrogênio)
3. O invólucro e a caixa pressurizada deve ter resistência mecânica para suportar 1,5 vezes a sobrepressão que aparecer durante a operação normal.
4. Deve ser feita purga antes do comissionamento e partida do equipamento elétrico.
5. Dependendo da classificação do local (Zona) e da categoria do circuito elétrico da caixa, deve-se adicionar alarme ou intertravamento, para o caso de falha da pressurização do gás inerte.

Aplicações

1. Salas de controle, salas com instrumentos de análise, *abrigos* com analisadores.
2. Equipamento quando, durante a operação normal, há faíscas, arcos elétricos ou superfícies quentes.
3. Grandes máquinas, coletores de motor, caixas de chaves, gabinetes de controle e equipamentos de análise.

Locais permitidos

1. Para área de Zona 1 com equipamentos de uso geral (faiscadores), deve haver um alarme e intertravamento para falha do sistema de pressão. O intertravamento deve desligar a fonte elétrica na falta de pressão exceto quando isso pode criar uma condição perigosa, quando devem ser tomadas outras medidas.
2. Para Zona 1 com equipamentos para Zona 2 (não faiscadores) deve-se ter um sistema de alarme de pressão.
3. Não se pode usar invólucro pressurizado em Zona 0.

Marcação e normas

O invólucro pressurizado como proteção contra explosão é marcado como Ex-p. Há também a marcação Ex-nP.

Normas relativas à proteção Ex-p:
ABNT NBR 169
IEC 60 079-13 e 60 079-2 (EEx p II)
EN 50 016
prEN 13 463
Ex-pD conforme IEC 61 241-4

O tipo de proteção de pressurização era chamado de **ventilação separada "f".**

8.5. Segurança Intrínseca

Princípio

A técnica de proteção de segurança intrínseca se baseia na restrição da energia elétrica entregue da área segura para a área perigosa, para os equipamentos e para a fiação de ligação. O nível de energia está abaixo do nível necessário para causar ignição ou por faísca ou por aquecimento.

O método também cuida da fiação de ligação, pois ela pode armazenar energia em níveis perigosos.

Circuitos intrinsecamente seguros são aqueles onde nenhuma faísca ou efeito termal ocorrendo durante as condições de teste estabelecidas na norma podem provocar ignição de atmosfera potencialmente explosiva de gases ou de pó e ar. As condições de teste cobrem a operação normal e certas condições de falha estipuladas na norma.

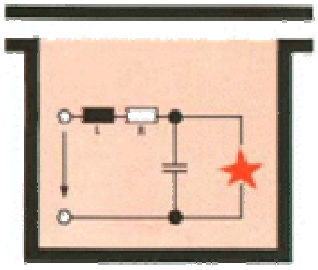


Fig. 4.7. Esquema da segurança intrínseca

Fig.4.8. Barreira zener de segurança intrínseca

Parâmetros importantes de projeto

O sistema de segurança intrínseca não pode ser usado fora do escopo da certificação.

Os sistemas de segurança intrínseca são classificados por temperatura e pelo subgrupo dos equipamentos.

A fonte de energia do sistema não pode liberar quantidades inseguras de energia na área perigosa e a energia de outras fontes não podem invadir o sistema; por isso, há exigências de isolação, aterramento e segregação.

A barreira de energia elétrica é constituída de resistores (limitam corrente) e diodos zener (limitam tensão) e opcionalmente fusíveis (corta corrente).

Os equipamentos e a fiação do sistema devem ter capacitância e indutância limitadas, que são os elementos armazenadores de energia.

O sistema pode ser aprovado como um todo, por um laboratório certificador ou cada componente do sistema deve ter parâmetros críticos (tensão, corrente, indutância, capacitância) definidos, que são chamados de parâmetros de entidade.

Eventos de circuito aberto, curto circuito, contato com terra são considerados como condição normal para o sistema intrinsecamente seguro.

Há exigências especiais para alguns componentes, por exemplo: não pode se usar auto-transformador, fusíveis não podem ser de encaixe mas soldados.

Componentes passivos que manipulem tensão abaixo de 1,2 V, corrente menor que 100 mA, potência menor que 25 mW ou energia abaixo de 20 μJ não requerem teste ou certificação.

Aplicações

Como a energia de ignição mínima de misturas inflamáveis é muito pequena, o método de proteção de segurança intrínseca só se aplica a sistemas de baixa potência, em particular, sistemas de instrumentação e comunicação.

1. Instrumentação para medição, monitoração e controle.
2. Sensores trabalhando na base de princípios físicos, químicos ou mecânicos e em potência limitada.
3. Atuadores trabalhando na base de princípios ópticos, acústicos e, até certo ponto, mecânicos.

Locais permitidos

Há aplicações de sistemas de segurança intrínseca em todas as Zonas de perigo, inclusive Zona 0, porém os sistemas devem ser adequados.

Há duas categorias de sistemas:

1. ia, apropriado para uso em áreas perigosas incluindo Zona 0,
2. ib, apropriado para uso em áreas perigosas para Zona 1 e 2 e excluindo Zona 0

Marcação e normas

A marcação dos equipamentos com proteção de segurança intrínseca é Ex-i.
É comum diferenciar o equipamento para Zona 0 como Ex-ia e aquele para Zona 1 e 2 como Ex-ib.

Normas relativas à proteção Ex-i:
ABNT NBR 8446 e 8447
IEC 60 079-20 e IEC 61 241-5
EN 50 020
VDE 0170/071-7

8.6. Segurança aumentada

Princípio

A proteção de segurança aumentada incluem medidas adicionais para fornecer um maior grau de segurança contra a possibilidade de temperatura excessiva e da ocorrência de arcos e faíscas durante a vida do equipamento e sua operação normal.

A segurança aumentada se aplica somente a equipamento elétrico onde nenhuma parte pode produzir faíscas ou arcos ou exceda a temperatura limite dos materiais usados em sua construção.

Fig. 4.9. Conceitos de segurança aumentada

Parâmetros importantes de projeto

1. Para partes não isoladas e energizadas, aplicam-se exigências protetoras especiais.
2. Espaçamentos no ar e no circuito impresso são maiores que os normais. Condições especiais se aplicam à proteção IP requerida.
3. Para enrolamentos, sua construção, resistência mecânica e isolação, aplicam-se maiores exigências e os enrolamentos devem ser protegidos de aumentos de temperatura.
4. Mínimas secções transversais são estipuladas para o fio do enrolamento, a impregnação e reforço das bobinas e para equipamentos de monitoração de temperatura.

Aplicações

Material de instalação tais como caixas de junção, gabinetes de conexão para sistemas de aquecimento, motores de gaiola.

Locais permitidos

Os equipamentos com proteção de segurança aumentada podem ser instalados em locais de Zona 1 e Zona 2. Ele não pode ser usado em Zona 0.

Marcação e normas

A marcação dos equipamentos com proteção de segurança aumentada é Ex-e.

Normas relativas à proteção Ex-e:
ABNT NBR 9883
IEC 60 079-7
EN 50 019

8.7. Equipamento não acendível

Princípio

Equipamento não acendível é aquele incapaz de causar a ignição de um gás, vapor ou pó inflamável na mistura com o ar, devido ao arco voltaico ou a temperatura da superfície, quando em uso normal.

A proteção contra explosão do equipamento não acendível elimina as faíscas ou superfícies quentes que poderiam provocar ignição em operação normal. As falhas não são consideradas, pois o equipamento só é seguro em condição normal. O equipamento pode ser fonte de energia durante os raros momentos de operação anormal.

O mecanismo de contato ou o invólucro em que os contatos estão incluídos é projetado de modo que a ignição de uma mistura de gases, pós e ar no ambiente vizinho é evitada enquanto as condições de operação definidas forem aplicadas.

Parâmetros importantes de projeto

- Volume interno livre ≤ 20 cm^3
- O encapsulamento deve permitir uma temperatura permanente de ≥ 10 K, comparado com a máxima temperatura de operação
- A combinação das peças é totalmente selada ou
- Projeto dos contatos irá extinguir qualquer chama que aparecer
- Limitado a 254 V ca e 16 A
- L e C são partes do teste
- Subgrupos IIA, IIB e IIC são tratados de modo diferente.

Aplicações

- Sistemas de contato

8.8. Encapsulamento

Princípio

Partes que poderiam provocar ignição em atmosfera potencialmente explosiva por meio de faíscas ou calor são encapsuladas de modo a evitar a ignição da atmosfera potencialmente explosiva. Isto é conseguido pelo encapsulamento dos componentes em um composto resistente às influências físicas elétrica, termal, mecânica e química.

Como técnica de proteção alternativa, o encapsulamento é o envolvimento íntimo do equipamento elétrico que está sendo tratado com um material conveniente, de modo que nas condições de uso para o qual ele é projetado, não haverá nenhuma condição externa que irá provocar ignição da atmosfera explosiva exterior, nem pela transmissão de chama e nem pelo superaquecimento de qualquer peça.

O encapsulamento de um componente ou conjunto de partes é realizado por um sólido como plástico, cerâmica, resina, PVC, epóxi.

As vantagens do encapsulamento são múltiplas e não necessariamente se referem apenas a segurança:

1. Torna o componente mais resistente a impacto e vibração mecânica,
2. Reduz a influência da atmosfera circundante, quanto a umidade, a temperatura, a pressão e a gases corrosivos,

3. Serve como dissipador de calor por causa de sua maior superfície para dissipação do calor,
4. Torna o componente eletricamente inacessível, impedindo que um ponto de junção especifico do circuito seja aterrado ou conectado indevidamente a outro ponto, comprometendo a segurança.
5. Torna o componente não faiscador e seguro para uso em local com atmosfera potencialmente explosiva
6. Quando usado em segurança intrínseca, o encapsulamento do circuito elétrico

Fig.4.10. Esquema simplificado da proteção de encapsulamento

Algo parecido com o encapsulamento, é a tropicalização de circuitos elétricos. Consiste na aplicação de resinas especiais, em todo o circuito impresso, de modo a tornar o circuito insensível a umidade elevada e evitando-se o aparecimento e crescimento de fungos e mofos. Enfim, torna-se o circuito adequado para ser usado num pais tropical.

Parâmetros importantes do projeto

1. Volume interno livre menor que 100 cm^3.
2. conjunto encapsulado não deve se rachar nem se quebrar, como resultado de choques mecânicos ou térmicos, provocados na sua prevista e devida aplicação.
3. material de encapsulamento deve ser compatível e quimicamente estável com relação a todo gás ou vapor presente na atmosfera de uso.
4. a temperatura de qualquer ponto normalmente acessível a atmosfera combustível deve ser menor que 80% da temperatura de ignição da mistura, expressa em ^{O}C.
5. Encapsulamento deve ter espessura estipulada
6. Cavidades são permitidas apenas de modo limitado
7. Conexões externas, terminais e cabos devem ser disponíveis.
8. Aumento dos espaçamentos entre as partes energizadas.

Aplicações

1. Bobinas estáticas em motores e válvulas solenóides,
2. Relés e outros disjuntores de potência limitada
3. Painéis completos com circuitos eletrônicos.
4. Componentes elétricos, como resistor, capacitor, indutor, transistor

Locais permitidos

O equipamento encapsulado pode ser usado em locais de Zona 1 e Zona 2. Ele só pode ser usado em Zona 0, quando fazendo parte de equipamento intrinsecamente seguro.

Marcação e normas

A marcação dos equipamentos com proteção de encapsulamento é Ex-m.

Normas relativas à proteção Ex-m:
ABNT NBR 8446 e 8447
IEC 60 079-18 (EEx-m II)
IEC 61 241-6 (Ex-mD)
EN 50 021 (EEx-nC)
EN 50 028/VDE 0170/0171 – 9

Fig.4.11. Esquema simplificado da proteção de equipamento encapsulado Ex-nC

8.10. Hermeticamente Selado

Princípio

De um modo geral, selo é um dispositivo que impede o contato de duas substâncias. Por exemplo, um conduíte selado impede que os gases que estão de um lado do conduíte se transfiram para o outro lado. Uma tampa selada impede que os gases entrem no interior da caixa, através da tampa.

Um selo ideal hermético é totalmente fechado. Na prática sempre há pequenos vazamentos.

No aspecto de segurança, os selos são comumente usados para se evitar a contaminação de áreas seguras por áreas perigosas através de conduítes e cabos. Os cabos e conduítes selados impedem ou interrompem a passagem de gases entre equipamentos interligados. Todos os cabos e conduítes que entram e saem da sala de controle devem ser selados. Todos os conduítes e cabos que entram e saem das caixas pressurizadas devem ser selados. Para se evitar o acúmulo de pressão, conduítes longos ou de interligação de instrumentos a prova de explosão também devem ser selados.

Fig.4.12. Esquema simplificado da proteção de selagem hermética

Vedação total é aplicada a conexões de luminárias. Ele também pode ser aplicado a um equipamento não faiscador, como uma salvaguarda adicional. Um exemplo: motor fechado de gaiola.

Para riscos de pó o método mais largamente usado de proteção é uma combinação de invólucro do equipamento e eliminação de superfícies quentes.

Fig. 4.13. Equipamento selado

Parâmetros importantes de projeto

- O volume interno livre menor que 100 cm^3.
- Conexões externas, terminais e cabos devem ser disponíveis.
- Os selos elásticos devem manter suas propriedades de selagem durante toda a vida útil do equipamento.

Aplicações

- Equipamento gerador de faísca.
- Conduítes e cabos de ligação

Locais permitidos

A selagem hermética é uma técnica usada somente na Zona 2 (Divisão 2), nos EUA, embora, na Europa, seja questionável o seu uso em Zona 1.

Marcação e normas

A marcação do equipamento hermeticamente selado é Ex-h. Equipamento selado é Ex-nC.

As normas relativas a Ex-h são:
EN 50 021
IEC 3-36
FM 3610

Há quem considere a selagem idêntica a proteção de respiração restrita.

8.11. Imersão em Óleo

Princípio

Um tipo de proteção para equipamento elétrico onde o equipamento elétrico completo ou partes dele são mantidas seguras por imersão em óleo, de modo que gases e vapores acima do nível do óleo e fora da caixa não podem provocar ignição por arcos elétricos ou faíscas geradas abaixo do nível do óleo ou pelos gases residuais quentes do processo de chaveamento ou por superfícies quentes.

Com este tipo de proteção, a fonte de ignição é completamente imersa em um recipiente cheio de óleo, de modo que uma transmissão da chama para a área cima do nível do óleo é evitada. Isto requer que a saída termal alimentada para o óleo, a energia termal e a densidade de energia resultante sejam consideradas.

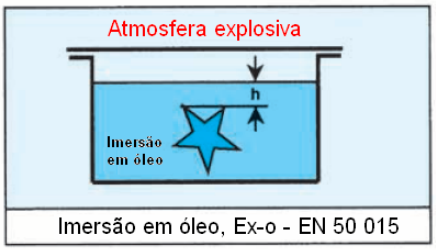


Fig. 4.14. Conceito da proteção de imersão em óleo

O óleo em si pode se romper e há limites de temperatura impostos. Atualmente somente Óleos de Isolação Mineral (silicone) são permitidos. A historia registra casos de transformadores imersos em óleo que explodiram (Chicago, 1973).

Poucos certificados são emitidos para equipamentos aprovados com Ex o; onde usado, tende a ser parte de outros métodos combinados de proteção.

Parâmetros importantes do projeto

Em resumo, as principais idéias relacionadas com imerso de óleo são:

1. a caixa deve ser metálica, projetada para eliminar a possibilidade de produção de faísca e fagulha acima do nível de óleo.
2. nível de óleo normal deve ultrapassar em 150 mm, no mínimo, qualquer circuito elétrico que produza faísca ou arco voltaico.
3. nível do óleo deve ser indicado por um visor, com graduações que indiquem o nível normal, mínimo e máximo.
4. Deve–se monitorar o nível do óleo, quando aquecido ou resfriado e para identificar os vazamentos.
5. buraco de dreno, se existente, deve ser provido com uma conexão tampão, com o mínimo de 5 filetes de roscas completos.
6. não se pode usar fusíveis dentro da caixa.
7. os limites da temperatura exterior são os mesmos para as caixas a prova de explosão, baseando-se na temperatura ambiente de 40 ^{O}C.
8. deve haver marcação externa e visível, com os seguintes dados:
   - identificação do fabricante, do modelo, dos dados de calibração,
   - especificação elétrica completa,
   - classe, grupo e zona de uso permitido,
   - máxima temperatura de operação,
   - advertência para desligar o equipamento da alimentação antes de se abrir a caixa e manter a caixa totalmente fechada, quando em operação.

Aplicações

Grandes transformadores, disjuntores, resistores e controladores de partida de motores.

Ela é útil para transformadores, pois o óleo serve adicionalmente como refrigerante e permite o movimento de contatos sem faíscas de ignição.

Não se conhecem aplicações de técnica de imersão para instrumentos de controle, pois ela atrapalha a operação funcional.

Disjuntores imersos em óleo foram muito usados na indústria química para chaveamento local de motores. Como um resultado da transição para controles remotos e um aumento no número de intertravamentos, esta aplicação deixou de ser usada. Atualmente, chaves imersas em óleo são pouco instaladas. Além disso, o uso de chaves imersas em óleo para equipamentos portáteis não é permitido.

As aplicações com imersão em óleo requerem também muita manutenção. Os reparos são mais difíceis, por causa da caixa de óleo que deve ser removida antes do trabalho. Isto é geralmente indesejável dentro da área de trabalho.

Marcação e normas

O equipamento imerso em óleo é marcado como Ex-o, conforme EN 50 014 ou EEx-k, conforme prEN 13 463

Normas relacionadas com Ex-o:

1. *NBR 8601, Equipamentos elétricos imersos em óleo para atmosferas explosivas*
2. *IEC 79-6 - Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Oil immersed apparatus.*

3. *EN 50 019 - Electrical apparatus for potentially explosives atmospheres - Oil immersion "o".*

8.12. Enchimento de Areia

Princípio

A proteção de enchimento de areia (sand filled) ou de pó (powder filled) possui um invólucro para equipamento elétrico em que todas as partes vivas do equipamento são inteiramente envolvidas em uma massa de material finamente granulado tendo a consistência de areia, de modo que, sob as condições de uso para a qual o equipamento é projetado, qualquer arco que ocorra dentro da caixa não irá provocar ignição na atmosfera explosiva externa, nem pela transmissão da chama nem pelo superaquecimento das paredes do invólucro.

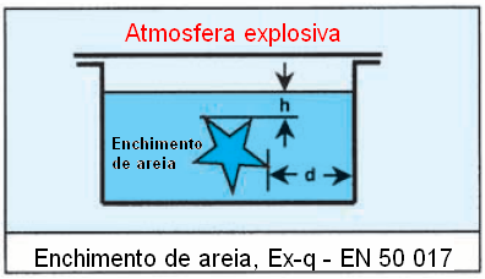


Fig.4.15. Esquema simplificado da proteção de enchimento de areia

Parâmetros importantes de projeto

1. O enchimento de pó, como areia ou pequenas esferas de vidro, deve satisfazer exigências específicas, tanto quanto o projeto da caixa. O enchimento não pode ser capaz de deixar a caixa, nem durante a operação normal, nem quando o resultado dos arcos elétricos ou outros processos internos do invólucro cheio de areia.
2. A areia de quartzo de enchimento deve satisfazer exigências específicas com relação ao tamanho do grão, pureza, conteúdo de umidade e resistência de ruptura. Uma material de enchimento diferente do quartzo é permitido se ele atende às exigências.
3. O invólucro deve preferivelmente ser feito de metal. Outros materiais são permitidos somente se suas propriedades mecânicas e termais tenham sido sujeitas a testes e descritas em detalhe.
4. A resistência da caixa à pressão deve ser verificada por um teste de pressão estática.
5. Os componentes elétricos incluídos devem ser adequadamente isolados, independente do efeito isolante do material de enchimento. Com as partes vivas nuas deve haver espaço suficiente entre as partes e as paredes do invólucro.
6. O material de enchimento é comprimido e por isso, dependendo dos instrumentos incluídos e as exigências, as camadas de material de enchimento devem ter uma espessura específica. Uma chapa de metal perfurada pode ser colocada no enchimento como uma tela para reduzir a espessura das camadas.

Aplicações

1. Cabos enterrados, onde serve como um material adequado de extinção de faísca, na eventualidade de ruptura do cabo.
2. Componentes onde ocorrem as faíscas ou as superfícies quentes mas cujo funcionamento não é afetado pelo enchimento do pó finamente granulado, como capacitores, transformadores e conjuntos eletrônicos.

Locais permitidos

Equipamentos elétricos com enchimento de areia podem ser usados em locais de zonas 1 e 2 mas não podem ser usados em locais de zona 0.

Marcação e normas

Geralmente a areia é de quartzo, por isso a marcação Ex-q.

Normas relativas a Ex-q:
IEC 79-5
EN 50 017/IEC 60 079-5 (EEx q II)
Esta técnica não é reconhecida nos EUA.

8.13. Tipos de proteção Ex-n

O tipo de proteção Ex-n se aplica a equipamentos elétricos da categoria de equipamentos categoria 3G, que, sob condições normais e certas condições

anormais de operação, não são capazes de provocar a ignição de uma atmosfera explosiva circundante. Estas condições de operação são estabelecidas pelo fabricante como parte do projeto elétrico e mecânico e é essencial que o usuário as observe. O objetivo deste tipo de proteção é achar um compromisso econômico entre as normas industriais padrão e as altas exigências de segurança para os tipos de proteção para equipamentos na categoria 3G.

Os tipos de proteção Ex-n são:

1. Equipamento hermeticamente selado, Ex-nC
2. Equipamento selado, Ex-nC
3. Equipamento encapsulado, Ex- nC
4. Equipamentos com chaveamento fechado, Ex-nC
5. Equipamento não faiscador, Ex-nA
6. Componente não ignitável, Ex-nC
7. Equipamento com energia restrita, Ex-nL
8. Respiração restrita, Ex-nR
9. Pressurização simplificada, Ex-nP

Fontes de ignição potenciais

Basicamente se faz diferença entre equipamentos não faiscadores, que não emitem qualquer faísca potencial de ignição durante a operação e equipamentos que emitem arcos ou faíscas ou superfícies quentes durante a operação normal. No caso deste equipamento que, em princípio, possui fontes potenciais de ignição, é necessário tomar medidas de proteção adicionais para permitir sua operação segura.

Equipamento não faiscador

Dependendo do tipo de equipamento (e.g., máquinas elétricas, luminárias), equipamentos não faiscadores devem satisfazer condições adicionais, de modo que nenhuma fonte potencial de ignição possa aparecer durante a operação normal. Além do equipamento de categoria 3G, o equipamento é também marcado com Ex-nA, onde esta combinação de letras se aplica para **equipamento sem faísca**.

Fig.4.16. Equipamento não faiscador, Ex-nA

Fig.4.17. Equipamento não ignitável, Ex-nC

Equipamento que emite arcos ou faíscas ou produz superfícies quentes

Equipamentos que emitem arcos ou faíscas ou produzem superfícies quentes durante a operação normal devem ter salvaguardas por medidas adicionais, de modo que estas fontes de ignição não possam provocar a ignição da atmosfera explosiva circundante. As medidas que são necessárias para isto são modeladas nos tipos familiares de proteção para equipamentos categoria 2G, onde as exigências de segurança são menos rigorosas. Partes do equipamento podem, ser protegidas pelos tipos de proteção da EN 50 014. um grupo de medidas adicionais envolve a isolação segura da fonte potencial de ignição da atmosfera explosiva por meio da construção técnica, geralmente um invólucro especial ou projeto do equipamento de modo que a transmissão da chama através do invólucro seja impossível. Os equipamentos hermeticamente selados, equipamentos selados e equipamentos encapsulados são baseados no fato que a atmosfera explosiva e a fonte potencial de ignição permanece seguramente isolada de cada outra. Equipamentos com chaveamento fechado são modelados no tipo familiar de proteção invólucro à prova de chama, da EN 50 018. com o componente não ignitável, a ignição é evitada por medidas de construção, enquanto, ao mesmo tempo, o tipo de gás é considerado. A marcação nC é usada para este grupo de medidas, enquanto o tipo permissível de gás (IIA, IIB, IIC) deve ser estabelecido. O invólucro com respiração restrita é outra medida de proteção contra explosão permissível com a marcação Ex-nR. O invólucro é projetado de modo que uma atmosfera explosiva pode entrar nele somente em uma medida restrita. A pressurização simplificada é modelada no tipo familiar de proteção Pressurização, enquanto medidas simplificadas forem aprovadas. Este

equipamento é marcado com Ex-nP.
uma medida de proteção contra explosão adicional é o equipamento de energia restrita com a marcação nL e a marcação para o grupo de gás conveniente (IIA, IIB, IIC). Ela é baseada no tipo de proteção segurança intrínseca, onde os fatores de segurança são menos rigorosos.

Quando for possível ter uma combinação de varias medidas de proteção contra explosão para equipamentos categoria 3G, é altamente recomendado que o operador estude cuidadosamente a documentação associada, porque todas as instruções de segurança emitidas pelo fabricante devem ser observadas para manter a segurança.

Fig.4.18. Pressurização simplificada

Respiração Restrita

O equipamento com proteção de respiração restrita é construído de tal modo que a ocorrência de misturas explosivas de gás ou vapor com o ar interno do invólucro é evitada durante certo tempo limitado e que não causa explosão externa por suas partes externas. A respiração restrita se baseia na selagem. O princípio básico é isolar as partes elétricas dentro de um invólucro através de um selo hermético que evita a entrada casual de qualquer atmosfera inflamável externa.

A certificação de uma caixa para respiração restrita é determinada por teste. Há dois tipos de testes:

1. teste de meia pressão, onde a caixa é pressurizada e mede-se o tempo que a pressão leva para atingir a metade da pressão inicial. Desenvolveu-se uma relação baseada nas constantes de difusão de vários materiais inflamáveis da qual se pode determinar para que materiais a caixa é conveniente.
2. teste da meia concentração, onde a caixa é cheia de uma material conhecida, usualmente o dióxido de carbono (CO_2). A atmosfera interna é monitorada e o tempo medida para a caixa atingir a metade da concentração inicial. Desenvolveu-se uma relação para vários materiais inflamáveis.

Esta técnica de proteção é aplicada na Europa, principalmente na Suíça (BS 4137), porém,, pouco conhecida e usada em outras partes do mundo, exceto em alguns componentes selados, como relés.

Um equipamento elétrico com esta proteção só pode ser usado em locais de Zona 2, pois a perda da selagem compromete a segurança. Ela não pode ser usada em Zona 1 e Zona 0.

Parâmetros importantes de projeto:

- A perda de potência na caixa pode, se ela contiver componentes com faísca, somente levam a aumento de temperatura comparado com a vizinhança de ≤ 10 K.
- Equipamento com estas caixas devem permitir a monitoração de vazamentos de vapores depois da instalação e manutenção.
- A alocação da classe de temperatura pela temperatura da superfície externa se aplicada a todas as caixas com e sem componentes com faísca.
- Não deve ser possível para selos elásticos se tornarem mecanicamente danificados sob condições normais de operação; eles devem manter suas propriedades de selagem durante a vida útil do equipamento.

As aplicações típicas da respiração restrita são em:

- disjuntores, instrumentação de medição e monitoração
- sistemas e equipamentos de informação.

A marcação do equipamento com respiração restrita é Ex-nR, conforme EN 50 021 e EEx fr, conforme prEN 13 463.

Diluição Contínua

Além da purga-pressurização, selagem e respiração restrita existe a técnica de proteção de diluição continua. Ela se aplica a equipamentos onde a mistura inflamável perigosa é injetada dentro do instrumento, como em analisadores e cromatógrafos.

A diluição continua se baseia na introdução de gás protetor em quantidade suficiente para diluir qualquer mistura inflamável presente durante a operação normal ou sob condições de falha do equipamento, como quebra do tubo de amostragem. A diluição garante que a mistura sempre fica abaixo do limite inferior de explosividade e inflamabilidade; tipicamente 50% destes limites.

Proteção Especial (Ex s)

Um conceito que foi adotado para permitir a certificação dos tipos de equipamentos elétricos que, por sua natureza, não estão de conformidade com as exigências de construção especificas do equipamento com tipos estabelecidos de proteção, mas que, mesmo assim, pode ser mostrado que é conveniente para uso em áreas perigosas, em locais específicos. A comprovação de sua segurança é estabelecida, onde necessário, através de testes. O certificado de qualificação limita onde pode ser usado.

O equipamento típico para receber proteção especial é o detector de gás inflamável, com invólucro e conexões a prova de chama: o gás tem acesso via plug metálico sinterizado.

A categoria de proteção especial pode ainda se referir a

1. novas técnicas criadas e ainda não reconhecidas ou certificadas,
2. combinação de técnicas de proteções existentes, por exemplo pressurização de caixa e componentes de salvaguarda à prova de explosão,
3. atualizações, evoluções e casos particulares de técnicas existentes. Por exemplo, um instrumento que quase satisfaz as normas de segurança aumentada e quase satisfaz as de segurança intrínseca pode ser considerado como de segurança especial.

Um instrumento com proteção especial pode ser usado em locais de Zona 0, 1 e 2.

Proteção por invólucro

A caixa é salada tão firmemente, que nenhum pó combustível pode entrar. A temperatura da superfície da caixa externa é limitada.

Mínimo grau de proteção é IP 6X, conforme IEC/EN 60 529.

Deve-se considerar o acúmulo de pó na superfície e redução da temperatura de superfície permissível com camada de pó ≥ 5 mm

Vários equipamentos onde durante a operação normal faíscas, arcos elétricos ou superfícies quentes ocorrem e projetos industriais complexos que por meio deste tipo de proteção podem ser utilizados em zonadas de perigo de explosão.

A marcação do equipamento protegido por invólucro é Ex-tD, conforme
IEC 61 241-1-1

Circuito com energia restrita

Circuitos em que nenhuma faísca ou efeito termal ocorrendo durante as condições de teste estabelecidas na norma pode provocar a ignição de atmosfera potencialmente explosiva dos subgrupos IIA, IIB e IIC ou de uma mistura de pó e ar.

As condições de teste cobrem as condições normais e algumas condições de falha estipuladas na norma. As correntes e tensões permissíveis excedem aquelas estipuladas para o tipo de proteção contra ignição de segurança intrínseca.

As exigências a serem atendidas pelo circuito e cargas nos componentes são menores que aquelas para a segurança intrínseca. Também com relação a erros, aplicam-se exigências mais suaves.

As aplicações típicas são:

Instrumentação para medição, monitoração e controle.

Sensores trabalhando na base de princípios físicos, químicos ou mecânicos e em potência limitada.

Atuadores trabalhando na base de princípios ópticos, acústicos e, até certo ponto, mecânicos.

A marcação do equipamento protegido por energia limitada é Ex-nL, conforme EN 50 021

Fig. 4.19. Equipamento com energia restrita

Circuito com segurança de construção,

Os sistemas, equipamentos e componentes são projetados de modo que eles não podem se tornar uma fonte de ignição, nem durante a operação normal nem quando ocorrer uma falha.

As exigências para o material da caixa são as mesmas para os outros tipos de proteção (e.g., EN 50 014).

Os componentes devem ser selecionados de modo que não seja possível haver geração de calor por atrito.

O atrito ocorrendo durante a operação normal não deve provocar cargas eletrostáticas nem faíscas.

As exigências de construção devem ser verificadas com relação às fontes de ignição, como descrito na EN 1127-1.

Atualmente, poucas experiências são disponíveis, pois esta norma ainda está em formato de rascunho (draft).

A marcação do equipamento com circuito com segurança de construção é EEx-c, conforme prEN 13 463

Controle de fontes de ignição,

Pela monitoração das fontes de ignição que não estejam presentes mas que possam aparecer, durante a operação normal, como partes de aquecimento, reação em situações criticas. Atualmente, esta norma está em rascunho (draft).

Não há nenhuma aplicação conhecida, pois a norma está em desenvolvimento.

A marcação do equipamento com controle de fontes de ignição é EEx-b, conforme prEN 13 463

Chaveador fechado,

O disjuntor como uma variante da proteção contra ignição do tipo Ex-n, com contatos que fecham e abrem um circuito potencialmente capaz de iniciar uma explosão, onde o invólucro irá suportar uma explosão interna da mistura de gases subgrupo IIA, IIB ou IIC sem ser danificada e sem transferir a explosão para a mistura externa na área vizinha.

Os parâmetros importantes de projeto são:

- Volume interno livre ≤ 20 cm^3
- O encapsulamento deve permitir uma temperatura permanente de ≥ 10 K, comparado com a máxima temperatura de operação
- Limitado a 690 V ca e 16 A

A marcação de equipamento com disjuntos fechado é EEx nC, conforme EN 50 021.

Fig.4.20. Chaveador fechado

9. Ignição Contínua

Introdução

Embora seja obvio que uma chama ao ar livre seja uma fonte de ignição, ela pode ser usada para evitar a transmissão de gases inflamáveis de um lugar para outro. A ignição continua é um método de proteção, praticamente aplicado a toda planta petroquímica e refinaria de petróleo. É o uso do flare, com um queimador ou chama piloto.

Enquanto houver a queima controlada e localizada da chama piloto, tem-se a segurança no local, pois se garante que não há acumulo nem concentração perigosa de gases e vapores inflamáveis no local.

A filosofia é a de provocar uma ignição continua, localizada, pequena para se evitar a concentração de gases em volumes que possam provocar a explosão, que é a ignição indesejável e descontrolada.

O sistema de chama piloto possui outras funções paralelas, como, a de convergir para o sistema de queima produtos e materiais, em condições de falhas e emergências. Há normas e requisitos para a ignição continua, relacionadas com a velocidade de queima, garantia de não extinção da chama.

Sistema de *flare*

A função de um sistema de flare é geralmente para manipular os materiais desprendidos durante a operação normal, principalmente durante a partida e durante as emergências.

Os sistemas de flare consiste de uma chaminé e de tubos associados que coletam os gases a serem liberados. Outras características incluem o tipo do flare, que tipicamente tem bocais de vapor para assistir a injeção de ar no flare, selos instalados na chaminé para evitar o retorno da chama e um tambor de separação na base da chaminé para remover o liquido dos gases passando para o flare.

O tipo do sistema de flare necessária e os perigos associados dependem muito da política de vent. Assim por exemplo, a decisão de ventar certas colunas frias de uma planta de etileno direta para a atmosfera pode reduzir grandemente o tamanho do sistema e evitar a necessidade de usar selos especiais necessários para manipular gases frios.

O uso de sistemas de trip pode também reduzir significativamente a quantidade de gás perdido a ser queimado no flare.

Os arranjos do flare podem ser divididos em duas partes separadas, uma manipulando o gás molhado e a outra manipulando o gás seco e frio. A divisão pode tomar a forma de sistemas separados, levando a uma chaminé de flare comum ou a dois sistemas separados, cada um com sua chaminé.

Em muitos casos os arranjos do flare consistem de um flare elevado combinado com um de baixo nível. As cargas de operação e de partidas normais são manipuladas pelo flare de baixo nível, enquanto ambos os *flares* são usados para manipular os grandes volumes das pouco freqüentes emergências.

A chama em uma chaminé de flare é muitas vezes de grande comprimento (vários metros) e o desprendimento de calor é da ordem de 10^7 BTU/h.

Há uma intensa radiação de calor do flare. É geralmente necessário ter uma área em torno do flare em que o pessoal não deve trabalhar ou permanecer.

Há um grande numero de problemas envolvidos na obtenção da ignição positiva e manutenção da chama na ponta do flare, bem como de evitar o retorno. Estes problemas são particularmente difíceis e os perigos associados são:

1. explosão do sistema de flare,
2. obstrução do sistema de flare,
3. entupimento da tubulação pela baixa temperatura,
4. radiação de calor do flare,
5. transporte de liquido do flare,
6. emissão de materiais tóxicos do flare.

Outros problemas envolvendo o ambiente são:

1. fumaça poluente no flare,
2. ruído do flare.

A combustão eficiente no flare depende da boa mistura obtida entre o gás combustível e o ar e da ausência de uma chama de difusão pura. Quando não se tem uma combustão eficiente, resulta uma chama cheia de fumaça escura.

Há vários modos de se promover boa combustão. O principal é a injeção de vapor. A principal função do vapor é aumentar a mistura de ar e melhorar a reação de combustão.

O controle do estado da chama é feito pela manipulação do suprimento de vapor através do operador de processo observando a chama. Há ainda sistema automático baseado na medição da radiação de calor da base da chama, onde a diferença de calor irradiado pela chama com e sem fumaça é muito grande.

Fig. 4.21. Plataforma com flare

No sistema de ar há um perigo de o ar entrar e formar uma mistura inflamável. O perigo é particularmente sério porque está sempre presente uma fonte de ignição, que é a chama na ponta do flare.

O ar pode entrar no sistema do flare devido a fatores como abertura de válvulas, corrosão, difusão para baixo da ponta do flare, quando não estiver operando a chama.

Algumas precauções devem ser tomadas contra o perigo de uma explosão de ar no sistema do flare; como:

1. usar purga do gás,
2. usar selos de água e corta chama,
3. eliminar vazamentos,
4. usar selos moleculares,
5. monitorar a concentração de oxigênio.

A descarga do gás perdido para o sistema do flare é naturalmente aleatória. Se a vazão de gás é muito pequena e há vazamento de ar no sistema, pode ocorrer uma mistura inflamável. Se a vazão de gás é muito pequena, a chama pode se apagar, voltar para a chaminé ou ficar pulsante. Por isso, é uma prática comum usar um gás de purga de modo a manter a vazão do gás no sistema de flare. Este gás de purga é usualmente combustível.

Os dispositivos que são usados para evitar a volta da chama são os corta chama e os selos de água.

Uma desvantagem do corta chama é a tendência de entupimento das pequenas passagens.

Uma alternativa para evitar o retorno da chama é o uso de selos de água. Porém, há problemas com selos de ar:

1. a criação de uma passagem ininterrupta através da água de altas vazões de gás, que podem tornar o selo ineficaz e
2. a tendência de surge, que pode afetar a operação do flare.
3. a perda de água dos selos.
4. em países frios, o congelamento da água.

O melhor enfoque para evitar a explosão nos sistemas de flare é evitar a entrada de ar no sistema e monitorar o conteúdo de oxigênio para verificar se isso está sendo feito. A eliminação de entrada de ar na tubulação tem o objetivo especifico de evitar a passagem de ar através das válvulas abertas.

O ar pode entrar também por difusão na chaminé, quando o flare não estiver operando. Um selo molecular é instalado para evitar isso. O uso do selo molecular reduz muito a vazão do gás de purga necessário para evitar a difusão de ar de volta na chaminé. A desvantagem do selo molecular é que ele tende a se bloquear. A principal causa do bloqueio é o acumulo de água e falha dos meios de drenagem desta água do filtro.

A concentração de oxigênio no sistema de flare deve ser monitorada, de modo a garantir que uma grande quantidade de ar entre e não seja detectada.

A obstrução do sistema de flare é um perigo que pode ocorrer de vários modos, por exemplo:

1. bloqueio de equipamentos, como corta chama e selo molecular,
2. congelamento dos selos de água em lugares muito frios.

Em alguns sistemas de flare o vapor é injetado na base da chaminé. A combinação de contato com um gás frio, como o etileno e o tempo frio pode causar o congelamento da água injetada. Ponto de congelamento do benzeno: 5,5 ^{o}C; do ciclohexano, 5,5 ^{o}C. A solidificação de óleos pesados pode criar entupimentos.

Pode haver fratura nos tubos do sistema de coleta, principalmente se a temperatura do aço é tomada abaixo de seu valor de transição. Por isso pode ser necessário usar aço inoxidável nas partes do sistema onde existem destas condições. O uso de aço inoxidável é caro e deve ser mantido ao mínimo necessário e depende da política de descarga adotada.

A combustão no flare é um processo complexo, que depende do gás queimado e até do numero de Reynolds.

A chaminé do flare irradia um calor intenso que constitui um perigo. O nível aceitável é estabelecido de modo que as pessoas podem sair imediatamente de sua vizinhança sem perigo. O nível proposto é de 3.154 W/m^2. Para fins de comparação a radiação solar é de 788 W/m^2. Se for necessário o trabalho de pessoas nesta área de radiação, o nível deve ser limitado a 1.577 W/m^2.

O liquido carregado da chaminé do flare resulta em uma chama mais escura e com muita fumaça, na dispersão de gotas de material inflamável em combustão ou dispersão de gotas de material tóxico.

O modo mais usado para evitar que gotas de liquido atinjam a chama é o uso de um tambor separação na base da chaminé. Porém, é difícil eliminar completamente a condensação e o spray.

Em flares contendo material como cloro e enxofre, os gases queimados são compostos como HCl e SO_2. Nestes casos, a altura da chaminé deve ser suficientemente grande para evitar a concentração destes gases tóxicos no nível do chão.

As objeções ambientais do flare são: luz, fumaça e ruído. A eliminação da fumaça já foi discutida. Pouca coisa pode ser feita para eliminar a luz da chama. Se isso é sério, pode ser necessário usar um sistema de queima fechado e a um nível baixo, em vez do flare. O ruído gerado pelo flare é função da energia liberada na chama.

10. Proteção e Zona

10.1. Proteção para Zona 0 (Cat 1)

Em Zona 0, somente equipamento de categoria 1G pode ser instalado.

Exigências especiais relativas a construção, teste e marcação do equipamento elétrico do Grupo II, Categoria 1G, são especificadas nas normas EN 50 284 e IEC 60 079-26.

Equipamento desta categoria deve também garantir a proteção requisitada no evento da ocorrência rara de defeito no equipamento. Esta exigência é satisfeita se as medidas contra fontes de ignição potenciais baseadas nos tipos padrão de proteção forem observadas.

Para excluir os riscos de ignição causados pelos circuitos elétricos do equipamento, o nível requisitado de segurança deve ser garantido:

No caso de ocorrerem duas falhas independentes entre si, aplicando um único tipo de proteção, tal como segurança intrínseca Ex-ia ou encapsulamento especial Ex-ma.

Caso um tipo de proteção falhe, aplicando uma segunda medida de proteção; isto pode consistir de uma combinação de dois tipos padrão de proteção ou uma combinação de um tipo padrão de proteção com a isolação especificada na norma
EN 50 284 ou IEC 60 079-26.

As combinações de elementos de desligamento e medidas de proteção suplementares dependem da espessura da parede do elemento de desligamento.

Em adição, os materiais usados devem ter adequada resistência a corrosão. Se forem usadas partições de isolação homogêneas mais finas que 3 mm, nenhuma medida adicional de proteção é requerida. Para uma espessura de partição de t ≥ 1 a 3 mm, é necessário aplicar um tipo padrão de proteção adicional.

Somente equipamento que gera arcos voltaicos em operação normal requer um espaçamento resistente à penetração de chama ou um espaçamento ventilado a ar.

10.2. Proteção para Zona 1 (Cat 2)

O equipamento contra explosão pode ser projetado de acordo com vários tipos de proteção. Os mais freqüentemente usados são:

1. Invólucro à prova de chama EEx-d (aquecedores, chaves, motores, contatores)
2. Segurança aumentada, EEx-e (terminais, caixas de conexão, motores, alguns aquecedores)
3. Segurança intrínseca EEx-i (dispositivos de instrumentação e controle, monitores).

Uma parte do equipamento contra explosão geralmente tem vários graus de proteção. A combinação mais freqüente é um invólucro à prova de chama e uma caixa de junção de segurança aumentada. A vantagem desta combinação é que pessoas não autorizadas não podem causar dano à parte a prova de chama, desde que as conexões são arranjadas separadamente.

10.3. Proteção para Zona 2 (Cat 3)

Equipamentos aprovados para Zona 0 ou Zona 1 podem também ser instalados na Zona 2. Em adição, o tipo de proteção do equipamento não faiscador “n” foi criado para a Zona 2.

A nova norma CENELEC EN 50 021 (1999) não mais contem a pressurização simplificada de invólucros encontrados nas normas antigas. Somente a nova norma IEC 60 079-15 (2001) inclui a antiga pressurização n com a nova designação Ex-nZ. A discussão centrada principalmente na instrumentação analítica, que foi incluída nesta norma de equipamento para Zona 2. Agora, a alternativa da pressurização n será aplicada somente para sistemas de controle *simples*. No futuro, dispositivos analíticos mais complexos para as Categorias 2 e 3 (Zonas 1 e 2) serão testados e construídos apenas de acordo com a norma IEC EN 60 079-2 (invólucro pressurizado), que também foi editada em 2001. Assim, a nova IEC EN 60 079-2 será a primeira norma que cobre as duas categorias, 2 e 3. Quando a norma IEC 60 079-15 entrar em vigor, a energia especificada para o teste de impacto será aumentada para o nível estipulado para o equipamento Categoria 2G (EN 50 014 e IEC 60 079-0).

Partes do invólucro (p. ex., invólucros com respiração restrita) deverão ter de suportar um teste de impacto de 7 joules, se não o operador será sobrecarregado por restrições. Além da energia de impacto, teclados de membrana, telas de monitor e painéis de operação terão de ser construídos de modo que a resistência de superfície dos materiais usados seja ≥ 10^9. Quando forem usados filmes plásticos que excedam este número, outras medidas devem ser tomadas para satisfazer as exigências eletrostáticas

O novo tipo de proteção, que se aplica exclusivamente para equipamento elétrico da Categoria 3 para instalação em Zona permite soluções de baixo custo.

Somente a operação normal é considerada nesta Zona. Não há necessidade de considerar defeitos de curta duração.

O equipamento com a proteção tipo “n” é classificado em cinco grupos:

Equipamento elétrico não faiscador Ex-nA (máquinas rotativas, fusíveis, luminárias, instrumentos de medição e equipamentos de baixa energia).

Equipamento nC que produzem arcos operacionais, faíscas ou superfícies quentes (disjuntores fechados, componentes não acendíveis, equipamento hermeticamente selado).

Invólucro Ex-nR de respiração restrita

Equipamento nL

Circuitos com energia limitada incluídos somente na norma IEC 60 079-15 (2001): pressurização Ex-nZ.

Equipamento elétrico não faiscador Ex-nA II T5, Categoria 3G para Zona 2

No caso deste tipo de proteção, são tomadas precauções especiais para garantir um grau crescente de segurança e para evitar a ocorrência de superfícies com temperatura inadmissivelmente alta e faíscas e arcos voltaicos dentro ou nos componentes externos do equipamento elétrico em operação normal.

É dada especial importância para observar a máxima temperatura da superfície. Invólucros de caixas de junção contendo partes vivas e desencapadas devem estar de conformidade com o grau de proteção não menor que IP 54. Aqueles contendo somente partes isoladas podem ser projetados com classe de proteção não menor que IP 44.

Equipamento com faísca operacional ou superfícies quentes EEx nC IIC T5 Categoria 3G para Zona 2

Equipamento e componentes com faíscas operacionais devem ser encapsulados ou selados de modo que eles sejam capazes de ou suportar uma explosão interna ou evitar uma atmosfera explosiva externa penetrar. No caso de invólucro à prova de chama simplificado, precauções devem ser tomadas também para garantir que uma explosão interna permissível não possa ser transmitida para a atmosfera explosiva externa ao invólucro (i.e., sem ignição de faísca).

Invólucro com respiração restrita Ex-nR II T5 Categoria 3G para Zona 2

Equipamento com faísca ou arco interno ou temperatura interna inadmissível durante operação normal pode ser usada em Zona se o invólucro está de conformidade com o grau de proteção mínimo de IP 54 e um manômetro interno de 3 mbar requer mais do que 80 segundos para diminuir para a metade do valor inicial (1,5 mbar). Invólucros e caixas satisfazendo estas exigências são chamados de invólucros com respiração restrita. Diferentes dos invólucros construídos para EEx e II e EEx d IIC, invólucros com respiração restrita não são livres de manutenção. O operador deve garantir que os invólucros a respiração restrita sejam inspecionados periodicamente.

Equipamento com energia limitada EEx nL IIC T6 Categoria 3G para Zona 2

Neste tipo de equipamento elétrico, os circuitos e componentes são construídos de acordo com o conceito de energia limitada. Este conceito pode ser aplicado a circuitos individuais em que nenhuma faísca ou outros efeitos termais ocorram e sejam capazes de provocar a ignição de uma atmosfera explosiva existente.

No caso de equipamento associado com energia limitada, os circuitos são incluídos em dois tipos: energia limitada e energia não limitada. Estes dispositivos de energia limitada devem ser instalados fora da área perigosa.

Pressurização n Ex-nZ II T5 Categoria 3G para Zona 2

A pressurização n alternativa torna capaz de operar um invólucro sob pressão. Qualquer vazamento ou queda de pressão deve ser indicado visualmente por uma lâmpada piloto. O desligamento não é requerido. Transmissão de um alarme para um sistema de controle superior se torna mandatório somente no caso onde, como estabelecido com os laboratórios de emissão de conformidade, certas provisões da norma não são satisfeitas.

Proteção de invólucro pressurizado simplificada normalmente consiste de invólucros protegidos, um bocal de entrada de ar ou nitrogênio (bocal sinterizado para minimizar o ruído) e um monitor de pressão fornecido por um circuito intrinsecamente seguro. No futuro, invólucros com fontes internas (instrumentos analíticos) devem estar de conformidade com a nova norma EN 60 079-2. Isto irá isentar 98% das aplicações da necessidade de estar de conformidade com normas mais severas.

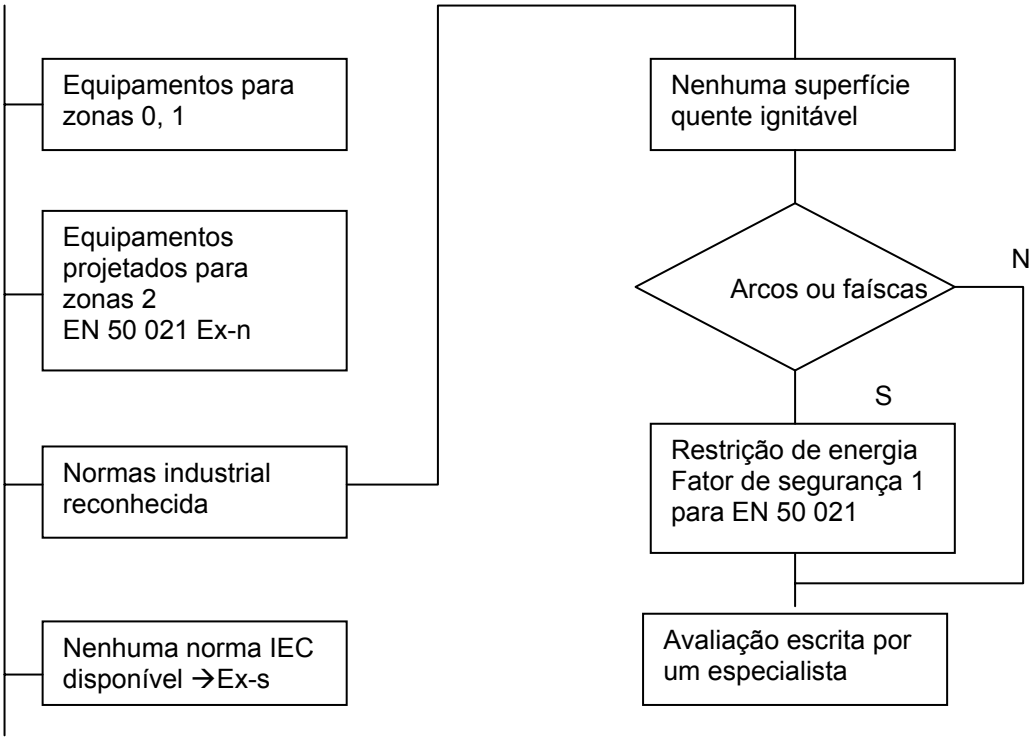


Fig. 4.22. Seleção para Zona 2 de acordo com EN 50 079-14

Fig.4.23. Instalação com atmosfera potencialmente explosiva

Prova de Chama, Ex-d

Objetivos de Ensino

1. *Conceituar instrumento à prova de explosão ou prova de chama.*
2. *Apresentar os parâmetros envolvidos com o conceito de prova de explosão: invólucro, juntas, flanges, selos e fiação.*
3. *Resumir as principais recomendações relacionadas com a marcação, montagem, operação e manutenção de equipamentos à prova de explosão.*
4. *Listar as normas relacionadas com a proteção de prova de explosão.*

1. Princípios e conceitos

A proteção de prova de explosão ou de chama é, possivelmente, o mais comum e facilmente reconhecível método alternativo de proteção aplicado a equipamentos elétricos montados em locais com atmosferas potencialmente explosivas. O conceito foi desenvolvido no início do século XX, cerca de 1910, porém até hoje ainda possui aspectos nebulosos e pouco conhecidos.

Nos Estados Unidos é chamado de prova de explosão; na Europa, de prova de chama. Aliás, a escolha do nome implica, já, em diferenças de conceitos, embora o resultado final seja equivalente: em ambos os casos há uma proteção efetiva, através do confinamento da explosão no interior do equipamento ou do resfriamento da chama quando ela escapa para o exterior.

Durante o trabalho se fará referência a ambos os nomes indistintamente, *à prova de explosão* e *à prova de chama*.

A sua abreviação é Ex-d, "d" de *druckfest*, alemão, que significa *vedado a pressão*.

A definição dada pelo NEC para equipamento a prova de explosão é a seguinte:

> *equipamento fechado em uma caixa que é capaz de suportar uma explosão de uma mistura gasosa específica que pode ocorrer dentro dela e de evitar a ignição de uma específica mistura gasosa externa e em redor da caixa, através de faísca, chama ou explosão da mistura gasosa interna e que opera em uma temperatura externa de modo que a mistura inflamável externa não entre em combustão por causa dela.*

Esta definição inclui vários critérios e conceitos.

1. O circuito elétrico deve ser envolvido por um invólucro ou caixa (invólucro a prova de explosão),
2. A caixa deve ser capaz de suportar as pressões geradas pela explosão que pode ocorrer no seu interior. O invólucro a prova de explosão ou prova de chama deve conter a explosão sem se danificar ou deformar.Para desempenhar sua função protetora, a caixa a prova de explosão é caracterizada por uma construção robusta, resistente, contendo materiais apropriados, com tampas rosqueadas ou aparafusadas de modo diferente que o normal, com espaçamentos bem determinados, acabamentos especiais nas superfícies de contato dos flanges, volume e formatos adequados, local determinado para colocação do circuito elétrico.
3. Os invólucros a prova de explosão não são vedados à entrada de gases inflamáveis. É permitido e esperado que a mistura gasosa inflamável penetre no interior da caixa, atinja concentrações perigosas e entre em contato com as fonte de ignição, elétrica ou termal , constituída pelos circuitos elétricos. Há explosões freqüentes no seu interior, porém, são pequenas explosões, confinadas ao interior dos equipamentos e controladas. A proteção à prova de chama ou à prova de explosão permite o acesso da mistura ar-gás perigosa dentro da caixa, através dos espaços entre suas peças, entradas de conduítes, espaçamentos entre eixo e suporte, espaços entre roscas. Os espaçamentos são calculados e projetados especificamente para fazer o resfriamento da chama interna.
4. Há uma explosão ou ignição interna, porém a proteção evita a transferência da ignição para o exterior, resfriando a chama, quando ela se propaga para a atmosfera

exterior ao equipamento ou confinando a explosão em seu interior. O que nunca pode haver é uma explosão ou combustão na área externa, que seria catastrófica e incontrolável.

5. Os circuitos elétricos no interior da caixa a prova de explosão são de uso geral e contém energia elétrica em altos níveis perigosos e suas peças internas podem atingir temperaturas elevadas, também capazes de provocar ignição. Porém, a temperatura externa não pode exceder determinado limite estabelecido por normas !
6. O equipamento deve operar de modo que nenhuma temperatura externa possa provocar ignição ou explosão da mistura gasosa externa.
7. A explosão ou ignição deve ser de uma mistura de gás especifico com o ar. Não existe uma caixa a prova de explosão que possa ser usada indistintamente em qualquer atmosfera perigosa. Por exemplo, até hoje não foi construída e aprovada uma caixa para uso em Classe I, Grupos A ou IIC, com acetileno. No Brasil, até hoje, ainda não se constrói caixa para local de Grupo B (típico de hidrogênio).
8. Finalmente, mas não menos importante, o instrumento continua operando normalmente, sem se danificar e sem alterar seu desempenho. Este ponto é talvez o mais difícil de ser aceito pelo não especialista, pois há o preconceito de que explosão ou incêndio sempre destrói, danifica, estraga, arrebenta, rompe, produz grande barulho. Se o instrumento à prova de chama parasse de funcionar quando houvesse uma ignição ou explosão, não seria prático. Em um local de Zona 1 pode-se ter várias explosões em um dia, no interior da caixa à prova de chama.

O principio do invólucro à prova de chama pode ser comparado a uma rua de mão única:

1. Uma atmosfera explosiva pode penetrar no invólucro do equipamento elétrico,
2. Mas no caso de uma explosão dentro do invólucro, uma transmissão da explosão para a área externa é evitada.

Vários fatores devem ser atendidos na construção, montagem e manutenção do equipamento. Todos esses parâmetros que garantem a segurança do equipamento são definidos em normas específicas e diferentes.

Fig.5.1. Conceito de prova de chama

Como conclusões práticas, a partir dos princípios de funcionamento da proteção de prova de explosão ou prova de chama, tem-se:

1. não é necessário que uma chama se propague através dos espaçamentos para provocar explosão no exterior; basta que o gás queimado chegue ao exterior a uma temperatura superior a temperatura de auto-ignição da mistura exterior.
2. nem toda chama que se propaga ao exterior provocará, necessariamente, a ignição da mistura inflamável exterior.
3. são fundamentais os valores dos espaçamentos e as condições de acabamento das juntas, pois eles são responsáveis pelo resfriamento dos gases, portanto, pela segurança.

O conceito de prova de explosão é aplicado não apenas a instrumentos de controle e comunicação, que manipulam baixo nível de energia, como é aplicado também a motores, geradores, luminárias, caixas de passagem, conectores, chaves, dutos.

Exemplos de aplicação Ex-d:

1. Caixas e invólucros de instrumentos
2. Motores com anéis de deslizamento e comutadores
3. Motores tipo gaiola de esquilo trifásicos
4. Disjuntores com contatos NA e NF
5. Unidades de controle, plugues e soquetes
6. Caixa de fusíveis
7. Transformadores
8. Instrumentos de medição
9. Resistores
10. Luminárias
11. Equipamentos de comunicação

Fig. 5.2. Explosões

2. Caixa ou Invólucro

A caixa do equipamento à prova de explosão protege os circuitos e fiação internos contra estragos devidos ao manuseio mecânico normal. Além disso, a caixa deve prover a segurança adicional, pelo fato de estar sendo usada em local com atmosfera potencialmente explosiva.

2.1. Materiais

As caixas a prova de explosão geralmente são metálicas, por exemplo, de ferro fundido, aço ou alumínio. Como as normas não exigem que devam ser necessariamente de metal, também podem ser de cerâmica, resinas, poliéster reforçado com fibra de vidro e outros plásticos, que apresentam vantagens relacionadas com resistência à corrosão e peso leve. O problema apresentado pelo uso de materiais não metálicos se relaciona com a dificuldade de manter a continuidade do terra, o ataque de solvente e a eletricidade estática.

Embora os metais também estejam sujeitos ao ataque químico e à corrosão, o efeito de tais deteriorações é mais evidente visualmente nos metais do que nos plásticos. Os plásticos perdem sua resistência sem evidencia visual da degradação.

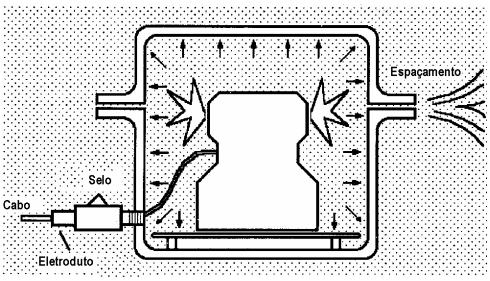


Fig. 5.3. Esquema simplificado da proteção de prova de explosão

Dados experimentais mostram que juntas feitas de materiais plásticos (polímeros) se comportam diferentemente das juntas metal-metal ou metal-vidro. Os plásticos tendem a se desgastar e corroer quando são conduzidos os testes de explosão, reduzindo a eficiência da junta por um período de tempo. Este fenômeno ocorre mesmo para material de poliéster reforçado de fibra de vidro. Por isso, os plásticos são normalmente limitados a juntas de rosca e labirinto, onde o efeito da degradação é menos pronunciado.

Em caixas metálicas, a percentagem de magnésio é limitada. O maior perigo, porém, está na presença de partículas de alumínio e magnésio entre os flanges. Invólucros feitos de ligas leves (alumínio e magnésio) se batidos com muita força por aço enferrujado pode produzir faísca capaz de produzir ignição, como resultado da reação química entre os materiais. Por isso estas ligas são inaceitáveis em invólucros à prova de explosão ou em operações subterrâneas de mineração.

As caixas a prova de explosão podem conter portas de vidro ou material transparente, desde que sejam resistentes a testes de impacto específicos e tenham dimensões limitadas.

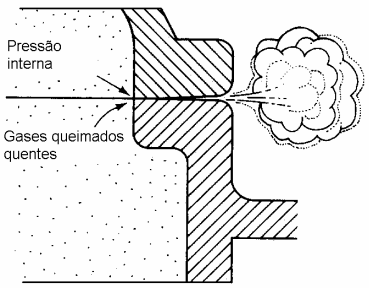


Fig. 5.4. Resfriamento da chama na caixa à prova de explosão

2.2. Resistência Mecânica

As caixas devem ser resistentes, capazes de suportar, sem ruptura ou deformação permanente, um teste hidrostático de quatro vezes a pressão máxima que é de desenvolvida dentro da caixa, durante um teste real de explosão. Câmaras de pressão típicas de 500 a 1000 kPa (75 a 150 psig) são comuns. Como não é e nem pode ser hermeticamente fechada, uma caixa a prova de

explosão funciona normalmente à pressão atmosférica, tanto fora como no interior.

Quanto maior a pressão gerada durante uma explosão, maior deve ser a resistência da caixa para suportar esta pressão, sem deformação permanente. A deformação permanente pode ser tão severa como a ruptura da caixa e o aumento do comprimento do parafuso.

Os testes para caixas a prova de explosão são feitos com a mais alta pressão provável nas condições de explosão, considerando o tipo (Grupo) da mistura inflamável e a fiação. Os testes consideram e incluem a propagação da pressão (*pressure piling*).

Os testes tem mostrado que a pressão da explosão aumenta quando a energia da fonte de ignição aumenta. Por exemplo, para uma mesma mistura gasosa, a explosão provocada pela alta corrente que circula por uma chave resulta em pressão muito maior que a provocada por uma faísca, que é o método mais comum de provocar explosão durante os testes.

2.3. Tamanho da Caixa

O tamanho da caixa é importante. Quando todos os outros parâmetros são idênticos, uma caixa pequena é mais segura que uma caixa grande.

Também o formato da caixa, esférico, quadrado ou retangular, influi na segurança da caixa à prova de explosão. Formatos que podem provocar turbulências nos gases de escape são mais seguros, pois, com a turbulência, o resfriamento é mais eficiente.

É também importante a distancia entre a fonte de ignição, que é o circuito elétrico do equipamento, e o ponto de escape dos gases. Há maior perigo quando a fonte está próxima ao local de escape dos gases. Quando a fonte de ignição está distante do ponto de passagem dos gases queimados, há maior resfriamento, pode haver turbulência e portanto há maior segurança. Quando a caixa contem suspiros e buracos de dreno, a turbulência é diminuída e a caixa é mais perigosa.

Quando o formato da caixa é comprido, e a fonte é localizada a distancia do espaçamento de escape de gases, os gases queimados são resfriados substancialmente pela longa extensão de paredes, tornando a caixa mais segura.

Há exigências de espessura mínima para as caixas usadas em equipamentos a prova de explosão, que dependem do material usado e do método de fabricação, com o objetivo de fornecer um grau de proteção contra queima ou temperaturas externas elevadas.

2.4. Espaçamentos

Quanto mais perigoso for o equipamento, menor deve ser o espaçamento para o escape de gases. Quando todos os parâmetros são mantidos constantes, a mesma caixa com menor espaçamento é mais segura que aquela com maior espaçamento. A atmosfera mais perigosa exige espaçamentos menores para o escape de gases.

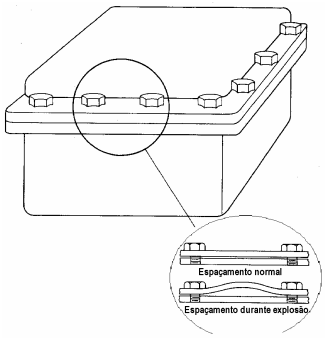


Fig. 5.5. Espaçamentos da caixa a prova de explosão

Assim, a grosso modo, mede-se a eficiência da caixa de prova de explosão pelo seus espaçamentos de escape dos gases queimados. MESG, máximo espaçamento seguro experimental, é determinado através de testes, com o instrumento na atmosfera inflamável. Provoca-se uma explosão no interior do instrumento e observa-se o que ocorre no exterior. Quando há explosão no exterior, o instrumento não é seguro e diminui-se o espaçamento de escape de gases queimados que provocam a explosão exterior. Repete-se a experiência. Quando se tem o equipamento, com o máximo espaçamento e sem provocar a ignição na atmosfera exterior, ele está seguro e esse espaçamento é o MESG.

O MESG depende da composição do gás, a pressão e temperatura iniciais da mistura gasosa, a localização da fonte de ignição e a geometria da caixa. O MESG está intimamente ligado a distancia de extinção ou resfriamento da mistura gasosa.

Para caixa com volume menor que 100 cm^3 o espaçamento é de 6 mm.

Tab. 5.1. Parâmetros de Explosão de Caixa Fechada

Material	Pmax kPa (psig)	Tempo para Pmax, ms	MESG, mm
Metano	704 (102)	70	1,17
Propano	842 (122)	46	0,96
Pentano	847 (123)	53	1,00
Éter	804 (131)	49	0,86
Etileno	870 (126)	25	0,71
Hidrogênio	725 (105)	7	0,10
Acetileno	1002 (146)	14	0,025

As larguras do espaçamento seguro são conhecidas para os gases mais comuns. Um destes gases usuais pode ser usado para determinar se o espaçamento ocorrendo sob a pressão de explosão é excedido. Baseando-se no máximo espaçamento seguro experimental (MESG), os invólucros são divididos em Grupos A, B e C. Esta subdivisão serve como base para alocar os meios (misturas de gás) individuais. As exigências a serem satisfeitas pelo projeto aumentam na ordem das letras.

Muitos fabricantes de equipamento à prova de chama fazem o projeto para atender as exigências mais severas, de modo a cobrir todas as misturas com um projeto, desde que não é econômico ter diferentes projetos de equipamento em produção em serie.

As normas internacionais atuais distinguem os projetos entre os que possuem espaçamentos sem roscas e com roscas.

Espaçamento sem rosca para invólucros com volumes até 2 000 cm^3:

Grupo	Comprimento l, mm	Largura w, mm
IIA	12,5	0,3
IIB	12,5	0,2
IIC	12,5	0,15

Para os espaçamentos rosqueados, há exigências mínimas acerca da resistência, qualidade, número de filetes ativos da rosca e a profundidade. Somente roscas ISO são permitidas.

2.5. Furos

Em princípio, os gases quentes da explosão interna só devem sair através dos espaçamentos normalizados entre flanges. Qualquer outro furo ou buraco deve ser evitado. Os furos na caixa para colocação da plaqueta de identificação devem ser fechados por solda ou rebite. Furos para fixação dos mecanismos devem rosqueados e não podem ter menos que 5 filetes completos de rosca. Parafusos removíveis não podem nunca traspassar a parede da caixa. A espessura metálica no fim do furo do parafuso deve ser maior que 1/3 do diâmetro do furo.

É permissível a entrada para cabo ou conduíte. O tipo mais comum de junta é a rosca, usada em sistemas de conduítes para a fiação elétrica, em tampas redondas e plugues. Para fins de proteção à prova de explosão, a rosca é muito eficiente, pois ela não se abre quando submetida às condições de explosão e apresenta uma longa trajetória para a chama, esfriando-a eficazmente. Todas as conexões devem ser projetadas para permitir 6 filetes de rosca, comprimento total da conexão igual ou maior que 5 mm, para caixas menores que 100 cm^3 ou 8 mm, para caixas maiores que 100 cm^3 de volume. Os furos rosqueados não usados devem ser preenchidos com tomadas ou bujões de selagem, que os vedem totalmente.

Por causa do fenômeno de acúmulo de pressão, todos os conduítes devem ser selados. Não deve haver união, conexão ou caixa de acoplamento no conduíte entre o selo e ponto em que o conduíte deixa a área perigosa. Os cabos e condutores elétricos também devem ser selados, a não ser que sejam incapazes de transportar gases.

Quando se usam parafusos para fixação de tampas ou flanges, as normas estipulam o numero e a distancia mínimos. E o furo do parafuso não deve ser considerado como trajetória da chama e por isso não deve ser maior que o diâmetro de parafuso além de 0,045".

3. Juntas

3.1. Introdução

Os invólucros à prova de chama geralmente possuem juntas para a redução da alta pressão do gás que é gerada no evento de uma explosão. Estas juntas têm duas funções:

1. Reduzem a pressão do gás
2. Resfriam a temperatura do gás da explosão sendo liderado através da junta, de modo que uma atmosfera explosiva

circundando o invólucro à prova de chama não pode entrar em ignição.

A eficiência de uma junta depende de vários fatores. A experiência mostra que uma junta simples, satisfazendo as mínimas exigências de construção em uma norma, não necessariamente satisfaz as exigências de prova de explosão. Para fornecer segurança ao invólucro, os parafusos da devem ser suficientemente fortes e ter espaçamentos pequenos, principalmente para o equipamento projetado para locais de Grupo A e B. Praticamente quase todo invólucro usado em locais do Grupo A é rosqueado. Os fabricantes perceberam que é impraticável construir motores e geradores elétricos para uso em locais de Grupos A e B, não somente porque há pouca demanda para tais equipamentos mas por que deveria haver tolerâncias extremamente rigorosas entre o eixo girante e o estator que seria impraticável em uma produção de linha.

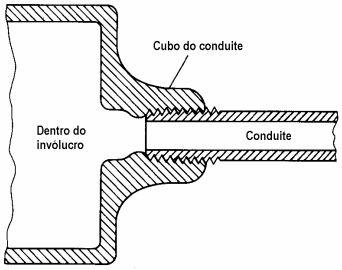


Fig. 5.6. Rosca para caixa à prova de explosão com o mínimo de sete filetes

3.2. Juntas Planas

A junta plana está relacionadas diretamente com o MESG (*maximum experimental safe gap*) e é o tipo de junta mais comum.

As necessidades de construção das juntas planas são baseadas na espessura mínima de 3/4" (19 mm) e um espaçamento máximo entre as superfícies da junta de 0,038 mm. Para caixas com volumes menores, particularmente se o equipamento é limitado a locais de Grupo D, a mínima espessura pode ser reduzida a 1/2" (12.7 mm), 3/8" (9.5 mm) ou até 1/4" (6.4 mm). Um parafuso é permitido na espessura da junta se a distancia do interior da caixa para o canto mais próximo do furo para o parafuso satisfaz a distancia mínima, como 1/2" (12.7 mm) para 3/4" (19.1 mm).

A distancia máxima de 0,038 mm entre as superfícies da junta não é baseada no MESG para algum material particular, mas é baseada no consenso da indústria e no espaçamento pratico mínimo que pode ser mantido na produção. Os espaçamentos são medidos através do apalpador de folga com larguras de 3.2 a 12.7 mm.

O acabamento da superfície da junta deve ter uma rugosidade media não maior que 0,0064 mm, de acordo com a norma ANSI B46.1. O acabamento industrial padrão (usinagem, fresa ou corte) é suficiente; não é necessário o polimento adicional, que poderia mesmo reduzir a eficiência da junta.

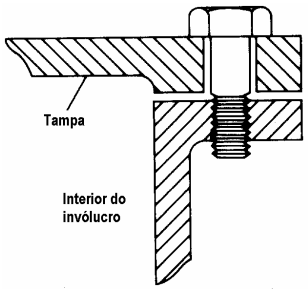


Fig. 5.7. Junta plana usada geralmente para grandes invólucros

A junta plana é comumente usada para grandes invólucros, para tampas retangulares e onde a junta rosqueada é impraticável. Ela deve ser projetada e testada com relação ao MESG. As normas definem o acabamento, rugosidade media, espaçamentos máximos entre as superfícies, comprimento e furos dos parafusos.

3.3. Juntas Rosqueadas

Outro tipo de junta extremamente comum é o rosqueado. A junta rosqueada é usada em sistemas de fiação com conduítes, em tampas redondas e plugues de drenos. A junta rosqueada é provavelmente a mais efetiva, porque ela não se abre nas condições de explosão e principalmente porque ela apresenta uma trajetória muito longa para o resfriamento da chama. Para ser eficiente, a junta rosqueada deve ser apertada corretamente. Embora o numero mínimo de filetes em muitas normas seja de cinco roscas completas, o numero mínimo pode aumentar, se há mais de uma rosca por milímetro.

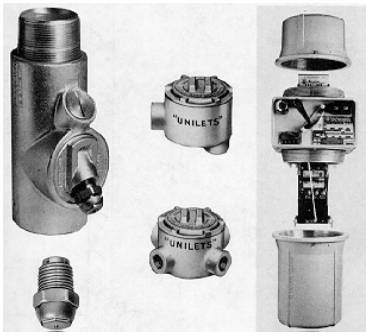


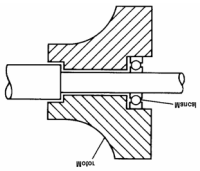
Fig. 5.8. Vários tipos de juntas rosqueadas (Appleton Electric Co.)

3.4. Juntas Rabbet

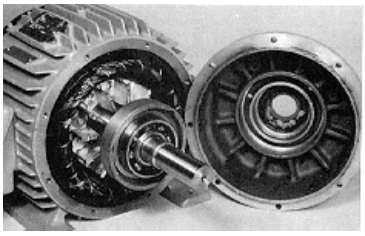
A junta rabbet é uma junta plana com um curva em ângulo reto. Há duas dimensões básicas nesta junta: a seção axial da junta e a seção radial da junta. O espaçamento da junta na seção axial é identificada como o espaçamento diametral, que é a diferença real entre o diâmetro interno e o diâmetro externo. O espaçamento na seção radial da junta é tratado de modo semelhante ao espaçamento entre as partes que se encaixam da junta plana.

Uma junta rabbet tem duas vantagens:

1. por ser uma junta em ângulo reto, oferece maior resistência ao fluxo de gases quentes do que a junta plana,
2. é idealmente adaptada para uma fixação cilíndrica, como entre a carcaça do motor e a sua tampa.



(a) Esquema da junta no eixo rotativo do motor



(b)Junta no eixo rotativo do motor

Fig. 5.9. Junta Rabbet

3.5. Juntas Labirinto

A junta labirinto é uma série de juntas *rabbet* e tem a mesma eficiência da junta rosqueada. A junta labirinto é útil para peças pequenas, como eixos rotativos, onde uma junta rosqueada normal não pode ser usada.

3.6. Juntas Eixo

Sempre que um eixo rotativo de alta velocidade deve passar através da caixa, tipicamente em motores e geradores, usa-se uma junta eixo.

A exigência para junta de eixo de alta velocidade (100 rpm ou mais) permite espaçamentos maiores entre o eixo e a caixa do que a permitida para as juntas planas. O objetivo é o de evitar contato entre as duas partes e desgaste na junta. Porém, ela requer que o comprimento (espessura em termos das juntas planas) da junta eixo seja maior que o da junta plana equivalente. Como a junta eixo está naturalmente sujeita a desgaste, ela deve ser verificada periodicamente após a instalação do equipamento.

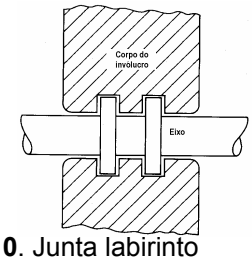


Fig. 5.10. Junta labirinto

3.7. Condições Dinâmicas da Junta

Quando ocorre uma explosão dentro de um invólucro a prova de explosão, o formato da caixa e o espaçamento entre as superfícies da junta podem ser afetadas pela alta pressão gerada pela explosão. Para uma dada caixa, quanto maior a pressão da explosão, maior é a modificação na caixa. Os critérios para a classificação dos Grupos da Classe I, (A, B, C e D) consideram o MESG (máximo espaçamento experimental seguro) e a pressão gerada pela explosão. A principal razão de colocar o Acetileno no Grupo A separando-o do Hidrogênio (Grupo B) é que a pressão gerada pela explosão da mistura Acetileno + ar é muito maior que a da mistura de Hidrogênio + ar. Mesmo que o Hidrogênio e o Acetileno possuam o mesmo MESG, a propagação da explosão através de uma junta plana é mais

provável em uma explosão acetileno + ar do que uma explosão hidrogênio + ar, por que o espaçamento entre as superfícies da junta provavelmente irá abrir mais sob as condições dinâmicas da explosão.

A deformação da junta entre as duas superfícies depende de vários fatores:

1. resistência da caixa em si, resultante do seu formato, material, espessura e método de fabricação,
2. massa da caixa,
3. taxa de variação do aumento da pressão da explosão,
4. material e tamanho dos parafusos,
5. espaçamento entre os parafusos.

A maior resistência do parafuso é conseguida pelo aumento do seu diâmetro e pelo uso de um material com maior resistência à tensão. Para uma junta plana típica, os parafusos são mais resistentes e menos espaçados para o invólucro para local de Grupo B ou C do que os requeridos para uma caixa para local de Grupo D.

4. Flanges

Nas caixas à prova de explosão com flanges, é entre os flanges que os gases quentes escapam para o exterior e por isso elas são responsáveis pelo resfriamento desses gases. No projeto dos flanges devem ser considerados os seguintes parâmetros: espaçamento, tamanho, material, acabamento, possíveis obstáculos entre os espaçamentos, quantidade de parafusos e distancias entre furos.

Considerando-se o flange como dissipador de calor tem-se:

1. os flanges menores são menos eficazes, portanto devem ser montadas mais próximas, para manter a mesma proteção que flanges maiores e mais distantes.
2. os flanges devem ser também metálicas e o contato deve ser metal contra metal. Não se pode, por norma, usar gaxetas entre flanges.
3. alguns grupos, como por exemplo, acetileno + ar, não podem ser usados com equipamentos flangeados. Usam-se, então, juntas cilíndricas.
4. o acabamento das superfícies de contato dos flanges deve ser excelente, no mínimo de 6,3 um.
5. na montagem dos flanges, deve-se garantir que não haja nenhum obstáculo, sujeira, graxa ou qualquer partícula estranha, principalmente metálica, entre o intervalo dos flanges.

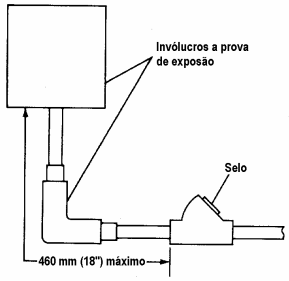


Fig. 5.11. Os únicos invólucros permitidos pelo NEC entre o selo e a caixa selada à prova de explosão são: união, cotovelo e conduítes tipo L, T e X.

5. Selos

Em locais de Classe I, zona 1, os selos servem para vários propósitos:

1. devem ser usados em cada conduíte que deixa um local mais perigoso (zona 1) para entrar em um local menos perigoso (zona 2) ou seguro, para impedir ou minimizar a passagem de gases através do conduíte, que estaria agindo como um gasoduto,
2. para completar a caixa a prova de explosão, pois o conduíte é parte do sistema do invólucro a prova de explosão, desde que ele é uma entrada.
3. para evitar a passagem da chama ou explosão de uma parte da instalação para outra, através do conduíte (propagação da pressão).
4. para isolar chaves, circuitos interruptores e peças de alta temperatura e outras fontes de ignição sob condições normais, dentro da caixa a prova de explosão, por exigência de normas.

O selo em todos os conduítes, independente de tamanho ou do que eles envolvam, permite o uso de equipamento a prova de explosão mais barato e com maior probabilidade de ser disponível.

6. Pressão e Temperatura

6.1. Pressão da explosão

A resistência mecânica do invólucro é verificada determinando-se a pressão da explosão. Na prática, a máxima pressão de explosão nunca é atingida, por causas das perdas que aparecem como um resultado da condução e radiação termal. Além disso, as perdas dependem muito:

1. do formato do invólucro,
2. de qualquer equipamento contido dentro do invólucro e

1. do local da ignição.

Para se chegar a um fator de segurança razoável para a resistência mecânica do invólucro, a pressão inicial da mistura do gás é atingida e a pressão da explosão aumenta proporcionalmente. A pressão de explosão deve ser determinada experimentalmente por cálculo. Também, a explosão varia de muitos modos, que é impossível generalizar acerca deles. Porém, a tecnologia da instrumentação torna possível medir e registrar as variações rápidas da pressão com precisão.

O volume livre de um invólucro simétrico tem somente uma pequena influencia na pressão de explosão esperada. Este efeito deixa de existir completamente para invólucros com volume maior que 5000 cm^3.

6.2. Condições de Operação

Como não são perfeitamente vedadas, as caixas a prova de explosão não estão pressurizadas, quando em funcionamento normal. Porém, é extremamente importante a pressão instantânea, gerada pela explosão do material inflamável do interior da caixa. Quanto maior a pressão máxima de explosão e também maior a variação da velocidade de aumento da pressão, mais perigoso é o gás e menor devem ser os espaçamentos de escape do gás. O gás com queima mais lenta é o metano.

É a pressão alta que força os gases escaparem para o exterior. Quanto maior a velocidade de saída, menor o resfriamento, menor deve ser a distancia entre os flanges. Maior pressão provoca mais turbulência no jato de gases de saída, o que favorece o resfriamento.

Quando há obstrução nos espaços de escape dos gases e a caixa se torna hermeticamente fechada é possível o aumento da pressão interna. Quando se dobra a pressão interna e inicial da caixa, o perigo de haver explosão é dobrado e para manter o mesmo grau, deve-se reduzir o espaçamento pela metade .

O aumento da temperatura inicial no interior da caixa aumenta a probabilidade de explosão no exterior, desde que o resfriamento térmico é o principal mecanismo de atuação da segurança provida pelas caixas a prova de explosão. Quando se aumenta a temperatura inicial , deve-se diminuir o espaçamento de escape. Dados experimentais mostram: quando se aumenta a temperatura interna de 20 ^oC para 250 ^oC, o espaçamento para escape da mistura pentano + ar deve ser diminuído de 0.11" para 0,08", para manter o mesmo grau de proteção.

6.3. Temperatura da Superfície Externa

Se a máxima temperatura de operação na superfície externa do equipamento em condição normal ou anormal excede 100 ^oC, deve-se marcar esta máxima temperatura atingida na caixa a prova de explosão, junto com os outros dados necessários, como Classe e Grupo do material para o qual a caixa foi investigada. Se a temperatura não exceder 100 ^oC, o equipamento é considerado como não produtor de calor e não é necessário fazer a marcação da classe de temperatura.

As condições em que a temperatura é medida inclui as condições de operação normal e anormal. As condições normais são: tensão e potência especificada e posição de operação. Como condições anormais tem-se a perda de fase, sobrecarga, motor travado, solenóide com armadura bloqueada, curto circuito, contato com terra, sobrecorrente e curto entre condutores com faíscas.

6.4. Acúmulo de Pressão

6.5. Transmissão da ignição interna

Os comprimentos “l” e as larguras “w” do espaçamento ocorrendo nas juntas de um invólucro são decisivos para sua resistência à transmissão da ignição. O comprimento do espaçamento pode facilmente ser determinado por medição ou pela diferença no diâmetro. Ele não é afetado pela pressão da explosão. A segurança do projeto não é apenas uma questão de manter e verificar os espaçamento de um invólucro de um invólucro sem pressão. Em adição, o maior espaçamento ocorrendo no evento de uma explosão dentro do invólucro deve ser determinado. A deflexão das paredes do invólucro e dos flanges pode fazer o espaçamento exceder os valores permitidos.

Geralmente as caixas a prova de explosão são de geometria simples, pequenas, onde as pressões de explosão valem, tipicamente, 700 kPa (100 psig). Na prática, pressões muito maiores podem ser geradas no interior da caixa quando há acúmulo de pressão. O acúmulo de pressão é um aumento na pressão de explosão, provocado pela pré compressão do gás, antes da ignição.

Por exemplo, as pressões de explosão em câmara fechada valem de 5 a 8 kgf/cm^2, quando a pressão inicial está em 1 kgf/cm^2. Aumentando-se a pressão inicial para 2

kgf/cm^2 a pressão de explosão aumenta para 10 a 16 kgf/cm^2. Conclui-se, pois, que a pressão da explosão é aproximadamente proporcional a pressão inicial.

Se duas caixas a prova de explosão são interligadas, e isso é um fato comum em instrumentação, a ignição em uma caixa pode aumentar consideravelmente a pressão da segunda caixa. Produtos da combustão são expandidos e empurram os gases não queimados para a outra caixa, através dos tubos de comunicação, aumentando a pressão interna da segunda caixa. Quando a onda de combustão entrar na segunda caixa, ela provoca a ignição dos gases previamente comprimidos. Nessas condições, a explosão na segunda caixa é muito maior que na primeira por causa do acúmulo de pressão.

Um efeito similar seria observado se a ignição ocorresse na extremidade de um longo conduíte e transportasse os gases do conduíte para a caixa. Por isso os conduítes longos devem ser selados. Na prática, conduítes grandes, com tamanhos muitos maiores que seu diâmetro, podem ser o causador de explosão, pois pelo fenômeno de acúmulo de pressão, podem transformar a onda de combustão em onda de detonação. Para se evitar isso, todo conduíte longo, que entra ou sai de uma caixa a prova de explosão, deve possuir selo adequado.

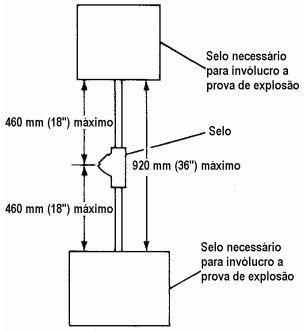


Fig. 5.12. O NEC permite um único selo entre dois invólucros, se o conduíte não for maior que 0,9 m e o selo não seja mais distante que 0,6 m dos invólucros.

Não somente a pressão máxima da explosão é maior, como também o acúmulo de pressão aumenta a velocidade de variação da pressão. Ou seja, o acúmulo de pressão torna a velocidade de combustão maior. A velocidade de queima pode aumentar tanto que a combustão térmica pode se transformar em uma detonação.

Os maiores aumentos de pressão em equipamentos industriais ocorrem, porém, em grandes motores, resfriados por ventiladores. Como a máquina é rotativa, os gases são comprimidos pela rotação mecânica, aumentando-se a velocidade da chama e provocando detonações.

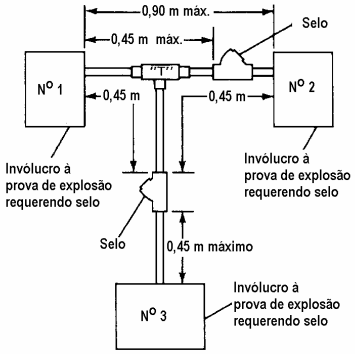


Fig. 5.13. Neste caso, o NEC requer dois selos de modo que o caminho entre as caixas 1 e 2 seja selado. Mesmo que a caixa 3 não exija selo, deve-se selar o conduíte vertical na posição correta, porque o conduíte sai de um T vindo da caixa 1

7. Equipamentos Elétricos

Os artigos 500 e 501 do NEC fornecem os parâmetros básicos para o equipamento usado nas áreas perigosas de Classe I. O artigo 500 contem definições, restrições de temperatura e marcação. As exigências principais estão no artigo 501; as necessidades específicas nos artigos 511-517.

7.1. Chave

A chave é um dispositivo atuado manual ou mecanicamente para ligar-desligar e selecionar ligações de circuitos elétricos.

A chave pode gerar arco voltaico no seu fechamento ou abertura. Por isso, quando usada em áreas classificadas, ela deve ter classificação elétrica compatível com a classificação da área. Na prática, ele deve ser ou à prova de explosão ou purgada ou intrinsecamente segura. Em locais de Classe I, zona 2, pode ser necessário usar chave especificada para Classe I, zona 1, por que em operação normal, a chave pode se tornar uma

fonte de ignição após a área ter ficado perigosa. Os equipamentos de Zona 2 não podem representar uma fonte de ignição sob condições normais de operação. As chaves imersas em óleo ou com contatos hermeticamente selados podem ser usadas, por que estes métodos de proteção não permitem que a mistura perigosa atinja os contatos.

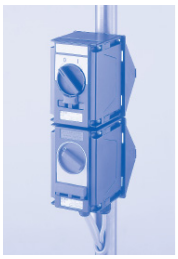


Fig. 5.14. Botoeira à prova de explosão

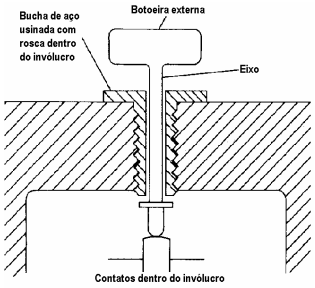


Fig. 5.15. Detalhe da botoeira à prova de explosão

7.2. Disjuntores

O tipo de proteção Ex-d é geralmente usada para disjuntores. Muito pouco calor é gerado no disjuntor, de modo que durante a operação a temperatura da superfície do invólucro é levemente maior que a temperatura da atmosfera circundando o invólucro. Em geral, o disjuntor satisfaz as exigências de classes de temperatura T5 e T6 e, portanto, também as exigências das classes com temperaturas permissíveis mais altas.

7.2. Transformadores

O transformador consiste de duas bobinas colocadas em indução mútua para alterar níveis de voltagem, corrente ou impedância em circuitos de corrente alternada.

Em locais de Classe I, Zona 1, os transformadores contendo líquidos que queimam, devem ser instalados fora da área em um poço separado. Este local deve ser arranjado de modo que a porta e outras aberturas não permitam comunicação entre o local de Zona 1 e o transformador. Acúmulos de gás ou vapores devem ser minimizados por um sistema de ventilação capaz de fornecer a remoção contínua dos gases ou vapores inflamáveis. Qualquer abertura de ventilação ou duto na parede do local do transformador deve ter uma parede exterior que não permita a comunicação do gás do local perigoso. A abertura de vent ou duto deve ser suficientemente grande para aliviar qualquer pressão de explosão.

Os transformadores que contem líquidos que não queimam podem ser instalados do mesmo modo que os transformadores contendo liquido que não queimam ou eles podem ser aprovados para locais de Classe I. As construções aprovadas incluirão invólucros a prova de explosão ou purgados. Não é possível construir transformadores de distribuição ou potência com segurança intrínseca, por causa da alta indutância necessária no primário e secundário do transformador. Isto implica em invólucros a prova de explosão, enchimento de óleo ou purga.

7.3. Solenóides

O solenóide é uma bobina energizada eletricamente que produz um campo magnético em seu interior. A criação deste campo serve para movimentar a haste da válvula solenóide.

Em locais de Classe I, Zona 1, os solenóides devem ser aprovadas para este local. As construções mais típicas aprovadas são a prova de explosão e intrinsecamente seguras.

Os solenóides a prova de explosão são disponíveis em uma variedade de tamanhos. Os solenóides intrinsecamente seguras são limitadas a tamanhos pequenos. A limitação é devida a maior indutância e maior corrente que a maior solenóide necessita para operar. Sob condições de falha, a energia armazenada pela indutância pode se somar a corrente de falha fornecida pela fonte de alimentação. A energia combinada da fonte de alimentação mais a indutância pode ser suficiente para provocar ignição da atmosfera perigosa.

Em local de Classe I, Zona 2, solenóides sem formação de arco ou sem contato deslizante podem ser instaladas em invólucros de uso geral, por que estes solenóides não tem contatos capazes de provocar a ignição de

atmosfera perigosa sob condições normais. Onde há arcos ou faíscas provocados por contatos, o invólucro de uso geral pode ser usado se os arcos ou faíscas dos contatos estão imersos em óleo ou em um invólucro que seja hermeticamente selado contra a entrada de gases ou vapores. Um invólucro de uso geral é também permitido se o circuito não libera energia suficiente para provocar a ignição da atmosfera perigosa específica nas condições normais.

Em locais de Classe II, Zona 1, os solenóides e os mecanismos de chaveamento associados devem ser instalados em invólucros a prova de ignição de pó. Para locais de Classe II, Zona 2, os solenóides deve ser instaladas em invólucros metálicos rígidos sem aberturas de ventilação. Os mecanismos de chaveamento associados devem ser instalados em invólucros vedados a pó. Em locais de Grupo II, Zona 2, o solenóide sem contatos de chaveamento ou deslizantes requer um invólucro metálico rígido para evitar o acúmulo de poeira nas bobinas.

7.4. Resistores, Reatores e Aquecedores

Em locais de Classe I, Zona 1, resistores, reatores e aquecedores deve estar em invólucros a prova de explosão, purgados ou pressurizados. Em locais de Zona 2, pode-se usar um invólucro de uso geral, se os contatos são *make-and-break* ou deslizantes estão em invólucros a prova de explosão, imerso de óleo ou hermeticamente selado e se a máxima temperatura de operação de qualquer superfície exposta não exceda 80% da temperatura de ignição em graus Celsius do gás ou vapor envolvido. Uma caixa de uso geral é também permitida se o equipamento foi testado e é incapaz de provocar ignição do gás.

Fig. 5.16. Luminária à prova de explosão

Fig. 5.17. Lanterna à prova de chama

7.5. Motores e Geradores

Em locais de Classe I, Zona 1, os motores e geradores são usualmente a prova de explosão, que é a construção mais prática e econômica. Há vários fabricantes produzindo motores para locais de Classe I que são limitados para o Grupo D, com alguns poucos para o Grupo C. Não são disponíveis motores e geradores para uso em locais de Grupos A e B. Para estas instalações, é usualmente necessário usar motores purgados com ar limpo ou algum outro gás inerte. Motores com aprovação de segurança intrínseca só são disponíveis em tamanhos muito pequenos (pequeníssimas frações de HP). Frequentemente, a única solução é localizar o motor fora do local de Zona 1.

Comparando com chaves e disjuntores, motores dissipam mais calor, especialmente com saídas mais altas. Para não exceder a temperatura limite permissível, pode ser necessário abaixar a saída especificada de um motor à prova de chama, quando comparado com o motor padrão.

Óleos e líquidos que podem formar misturas explosivas com ar durante a decomposição não podem, sob nenhuma circunstancia, ser colocados em equipamentos à prova de chama.

Em local de Classe I, Zona 2, as necessidades são grandemente simplificadas. Se o motor tem contatos produtores de arco ou chaveamento, resistências elétricas integrais ou chaves do tipo centrífugo, então o motor deve ser aprovado para Classe I, Zona 1 ou as partes que provocam arco voltaico devem ser convenientemente protegidas por invólucros a prova de explosão. Onde não há contatos de chaveamento, escovas ou outros mecanismos provocadores de faíscas ou arcos, um motor aberto comum ou de uso geral pode ser usado (motor de indução com gaiola de esquilo). É porém necessário considerar a temperatura das superfícies interna e externa. Estas superfícies seriam fonte de ignição se o equipamento da Zona 2 está exposto em uma atmosfera inflamável.

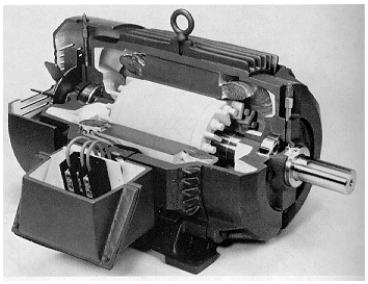


Fig. 5.18. Junta do eixo do motor que o torna à prova de explosão

Os motores e geradores em locais de Classe II, Zona 1 devem ser de um dos dois tipos:

1. prova de ignição de pó ou
2. totalmente fechado, ventilado por tubo.

Para usar motor totalmente fechado e ventilado por tubo, a máxima temperatura da superfície não pode exceder os valores estabelecidos pela norma [NEC 500-3(d)]. O tubo de ventilação não pode permitir a entrada de pó.

Os motores para Classe III devem satisfazer as exigências da Classe II: ou seja:

1. totalmente fechado sem ventilação,
2. totalmente fechado com ventilação por tubo ou
3. totalmente fechado resfriado com ventilador.

Em locais onde a autoridade responsável julga que somente ocorre acúmulo moderada de fibras e onde a máquina é facilmente acessível para limpeza, permite-se o seguinte:

1. motor têxtil com gaiola de esquilo autolimpante,
2. motor aberto padrão sem contatos deslizantes, centrífugo ou outros tipos de mecanismos de chaveamento, incluindo o dispositivo de sobrecarga do motor.
3. motor aberto padrão tendo contatos de chaveamento ou resistência fechado dentro de invólucro rígido sem ventilação ou outra abertura.

8. Prova de Tempo

A maioria das normas proíbe o uso de gaxetas de vedação em espaços de flanges, exceto sob tampas de vidro. Como a gaxeta é que faz a vedação do instrumento, tornando-se a prova de tempo, é problemático a conciliação de instrumento simultaneamente à prova de explosão e à prova de tempo.

Na prática, são disponíveis instrumentos a prova de explosão e a prova de tempo. A solução é o uso de anéis O, especiais, que não atrapalham o resfriamento dos gases queimados, ao ponto de provocar explosão exterior. Usam-se anéis O na conexão rosqueada, colocando-os na saída da rosca. Em conexões flangeadas, os anéis O são colocados na saída do flange. Deve-se projetar os flanges de modo que o espaçamento requerido para fornecer a segurança contra a explosão não seja excedido pela inclusão do anel O. O anel O impede a entrada de água no interior da caixa, porém não impede o resfriamento dos gases queimados que saem da caixa, os anéis O devem ser movidos e colocados apenas para operação real, pois eles se danificam, irrecuperavelmente, durante os testes de explosão.

Quando os instrumentos a prova de explosão não são a prova de tempo e necessitam ser instalados em área externa, deve-se fornecer meios extras que os protejam das intempéries, chuva, umidade. Por exemplo, fazendo um pequeno abrigo para colocar o instrumento a prova de explosão.

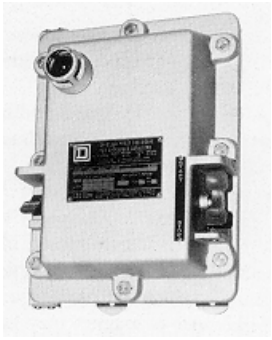


Fig. 5.19. Caixa à prova de tempo e de explosão

9. Prova de Ignição e Vedado a Pó

Os invólucros à prova de ignição de pó é reconhecida pelo NEC como adequada para uso em Zona 1, para todos os tipos de equipamentos elétricos. As características de uma caixa à prova de ignição de pó são:

1. juntas herméticas para evitar a entrada de pó e escape de partículas quentes dos contatos que provocam arco voltaico,
2. construção robusta para proteção contra estrago mecânico e para minimizar pontos quentes no caso de falha elétrica para o invólucro e
3. manutenção de temperatura da superfície externa suficientemente

baixa para evitar ignição de camadas de pó externas.

As caixas devem ter uma construção especial e mais resistente, geralmente de metal. As junções metal-metal são preferidas e devem ter, no mínimo, largura de 3/16". O espaçamento entre as superfícies de encaixe não podem exceder 0,0015". Pode-se usar gaxeta, se for mecanicamente fixada para protege-la de abuso. Porém, não se pode usar gaxetas de materiais sensíveis à idade.

Os invólucros à prova de ignição de pó são testados em uma câmara cheia de pó em agitação, com ligação intermitente do equipamento dentro da caixa, de modo que o ciclo de temperatura aumente a probabilidade de entrar pó. O equipamento é examinado para determinar se o pó entrou. Não pode haver acúmulo de pó, mesmo depois de anos de operação, que possa interferir com a operação ou criar uma ignição ou explosão perigosa. Não pode haver ignição.

As temperaturas da superfície são medidas com os equipamentos bloqueados com uma camada de pó. Esta máxima temperatura depende do grupo do pó.

É disponível ainda o invólucro vedado a pó, adequado para uso em locais de Classe II, Zona 2 e em Classe III, Divisões 1 e 2. A principal característica é uma construção hermeticamente vedada para excluir o pó ou fibra do interior da caixa onde é possível haver arcos e faíscas.

Tab. **5.2**. Máxima temperatura da caixa DIP (^{O}C)

Grupo	Equipamento normal	Equipamento com sobrecarga	
		Normal	Anormal
E	200	200	200
F	200	150	200
G	165	120	165

10. Marcação

Todo equipamento com proteção de prova de explosão deve ter uma indicação visual clara dela. A etiqueta de identificação do instrumento, além dos dados normais como:

1. nome do fabricante, marca registrada, modelo do instrumento
2. especificações elétricas de uso: tensão, freqüência, corrente máxima
3. classificação da área onde pode ser usado: Classe, Grupo e Zona
4. classe de temperatura ou máxima temperatura de operação.
5. Deve também conter advertências de uso relacionadas com a proteção de prova de explosão:

Instrumento à prova de explosão para uso em local de classe __, grupo __ e zona ___.

Para evitar ignição em atmosfera perigosa desligar a alimentação antes de abrir a tampa

Manter a caixa fechada quando em operação

A marcação dessas informações deve ser feita por meio de letras em relevo, fundidas integralmente na carcaça do equipamento ou por meio de plaqueta metálica, com texto gravado ou em relevo, de forma indelével e afixada de modo que não prejudique as características de prova de explosão.

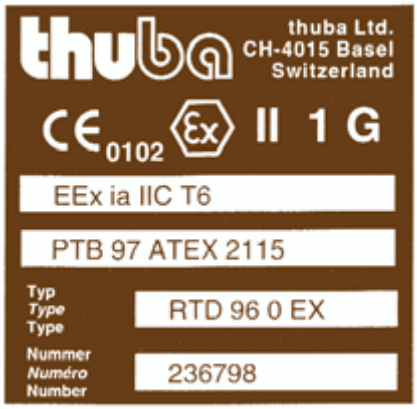


Fig. 5.20. Exemplo de marcação

11. Fiação Elétrica

Há poucos métodos de fiação permitidos para uso em locais de Classe I, Zona 1, porque a proteção dos condutores energizados é tão importante quanto a proteção dos outros equipamentos. O método mais comum é o uso de conduíte metálico rígido rosqueado (aço, alumínio ou bronze). Um mínimo de 5 filetes de rosca, apertado com chave, é necessário para tornar a conexão adequada entre as partes do sistema. As ligações com a caixa também devem ser rosqueadas. Conexões com buchas não são aceitáveis em Classe I, Zona 1. Os sistemas de fiação dos conduítes são caixas a prova de explosão.

Todas as conexões, rígidas ou flexíveis, devem ser a prova de explosão. Estas conexões são disponíveis em comprimentos padronizados com uma conexão metálica

rosqueada em cada extremidade. Elas consistem de tubo metálico corrugado sem costura protegido contra dano mecânico. Elas podem também ter um revestimento interno não metálico para reduzir a probabilidade de arco voltaico, faísca e queima no tubo.

Cabo metálico com isolação mineral (MI - *mineral insulated*) é também aceitável em locais de Classe 1, Zona 1. Embora este método de fiação não seja, por definição, a prova de explosão, ele consiste de algo maleável mas não de um cabo flexível, feito de condutores não isolados envoltos por óxido de magnésio compacto e protegido por um tubo de metal sem costura. O óxido de magnésio age como isolador elétrico para os condutores e como um selo continuo.

Um cabo flexível não é um método de fiação reconhecido no NEC, embora ele permita o uso destes cabos flexíveis em aplicações de equipamentos portáteis e de motores e geradores, por causa dos problemas de vibração. Onde usado, o cabo deve ser do tipo aprovado para serviço ultra pesado. Como o cabo é o elo mais fraco no sistema de proteção o seu uso é muito limitado. O NEC não reconhece cabo de extensão a prova de explosão. Além de impor limitações severas ao uso de cabo flexível em locais de Classe I, Zona 1, o NEC adverte contra possível deterioração da isolação dos materiais envolvidos.

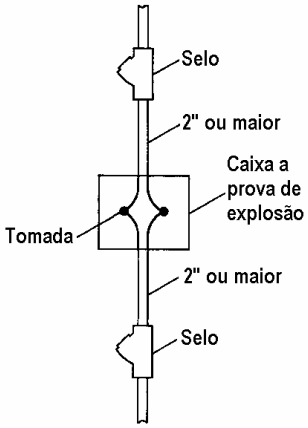


Fig. 5.21. Em local de Classe I, Zona 1, todos os conduítes maiores ou iguais a 50 mm (2 “) devem ser selados a partir de 0,5 m (18 “) da caixa, independente do conteúdo da caixa.

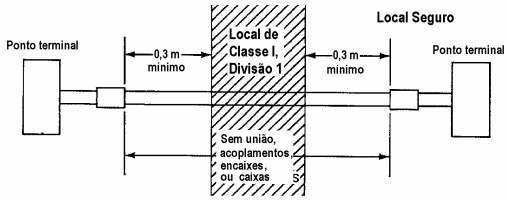


Fig. 5.22. Cabo multicondutor

Se um cabo multicondutor é usado em conduíte e o cabo é capaz de transmitir gases através de seu núcleo, a jaqueta do cabo deve ser removida na conexão de selo e os condutores isolados individuais do cabo e a jaqueta externa devem ser selados. Se o cabo multicondutor é incapaz de transmitir gases em seu núcleo, o cabo pode ser considerado como condutor simples isolado e selado como tal.

Em locais de Classe I, Zona 1, todas as caixas e conexões devem ser classificadas para e marcadas para indicar sua conformidade com os perigos do local. Isto inclui caixas de passagem, cotovelos, corpos de conduítes e uniões. A única exceção são as conexões rosqueadas que fazem parte dos conduítes rígidos ou conduítes metálicos intermediários.

(a) Em local de Classe I, Zona 2, não se requer selo no limite da Zona com área segura, se o cabo é selado no invólucro e tem uma blindagem contínua vedada a gás e vapor. O selo do cabo pode ser uma conexão para uso em local de Zona 2 em vez de uma combinação de niple, selo do conduíte e conexão do cabo, como mostrado em (b).

(b) Se o cabo não tem uma blindagem contínua vedada a gás e vapor, e.g., cabo do tipo isolação mineral com armadura intertravada, é necessário usar o selo no limite da Zona 2 e o local seguro.

(c) Se o cabo é capaz de transmitir gases ou vapores através de seu núcleo e o terminal do cabo na Zona 2 é pressurizado (acima de 1,5 kPa (0,2 psig), é requerido um selo entre o invólucro e o limite da Zona 2. Se o cabo não possui a blindagem contínua de vedação, o selo é requerido no limite ou ele pode estar em qualquer ponto entre a conexão do cabo no invólucro e o limite.

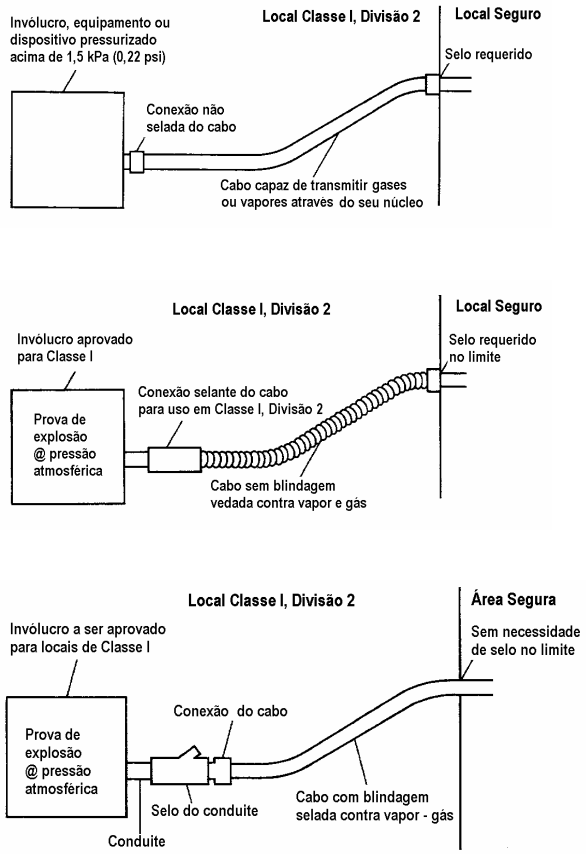


Fig. 5.23. Fiação em local de Classe I, Zona 2

12. Manutenção

A manutenção ou serviço de equipamento elétrico em caixa a prova de explosão deve ser feita somente em duas condições:

1. após o desligamento da energia elétrica de alimentação do sistema, garantindo-se que não há fonte de ignição, nem elétrica nem térmica.
2. após a garantia de que não há atmosfera inflamável ao redor do instrumento elétrico, assegurada através de testes com detectores de gases.

Em qualquer situação, depois de executado o serviço necessário, deve-se assegurar a integridade da segurança do invólucro.

Se a caixa deve ser pintada após a instalação, deve-se tomar cuidado para que a tinta não obstrua as superfícies das juntas e os espaçamentos de resfriamento.

Os parafusos e porcas devem ser apertados corretamente; se o fabricante determina o torque, este aperto deve ser usado. Parafusos não colocados ou não apertados podem reduzir ou destruir a eficiência da segurança provida pela caixa a prova de explosão. Os conduítes, as tampas rosqueadas, os plugues devem ser apertados por ferramentas. O aperto manual não é adequado.

Deve-se determinar que os vários componentes do sistema sejam compatíveis entre si. Os compostos de selagem de diferentes fabricantes não podem ser misturados, por causa da expansão diferente durante o processo de secagem.

Alguns equipamentos a prova de explosão usam parafusos especiais, com alta resistência. A substituição destes parafusos por outros de resistência diferente pode reduzir a eficiência da caixa. A resistência é usualmente marcada por um código na cabeça do parafuso. Se um parafuso é perdido ou estragado, deve ser substituído por outro do mesmo tamanho e mesma resistência.

Não se pode usar fitas de teflon nas roscas das juntas a prova de explosão. Se for necessário proteção contra corrosão ou penetração de umidade, pode-se usar graxa inibidora de corrosão especial, do tipo que não endureça com a idade, não contenha solvente volátil ou cause corrosão na superfície da junta.

Deve-se tomar cuidado para garantir que todas as peças de um particular equipamento a prova de explosão tenham sido testadas em conjunto. Por exemplo, a tampa de uma caixa pode encaixar mecanicamente em uma caixa, porém, elas só podem ser usadas juntas, se forem testadas juntas, quanto a segurança contra a explosão.

Deve-se garantir, na instalação original ou nas modificações posteriores, que a marcação do local da caixa esteja de conformidade com a classificação do local onde efetivamente a caixa irá operar.

Após a instalação, as caixas devem ser inspecionadas periodicamente, quanto a corrosão. A freqüência das verificações depende do grau de corrosividade do ambiente e dos registros estatísticos.

A continuidade do terra deve ser verificada visualmente e testada, se necessário. Durante os testes, não pode haver a presença de gases perigosos no ambiente.

Como a proteção oferecida por uma caixa a prova de explosão depende do resfriamento do gás quente, pelos flanges colocadas em espaçamento normalizado ou pelas roscas, é imperativo que a integridade das juntas flangeadas ou rosqueadas seja mantida durante toda a vida da caixa. Qualquer estrago, arranhão ou material estranho entre o espaçamento pode prejudicar a segurança de todo o equipamento. Portanto, as seguintes precauções são necessárias:

1. durante a montagem ou desmontagem das caixas, tomar muito cuidado com as superfícies de contato dos flanges. As ferramentas não devem ficar em contato com as superfícies dos flanges, pois, podem arranhá-las. Os flanges não devem ser colocadas sobre superfícies ásperas e rugosas. As roscas não podem se espanar.
2. armazenar os equipamentos e suas peças de modo especial, para se evitar estragos acidentais as superfícies dos flanges e roscas das conexões.
3. a limpeza deve ser observada, de modo que pequenos materiais estranhos não fiquem presos entre os flanges, aumentando perigosamente os espaçamentos de resfriamento. Durante a operação normal é difícil a entrada de material estranho entre as juntas, porém é grande a probabilidade disso acontecer durante a montagem do equipamento. Após remover uma tampa, limpe as juntas cuidadosamente, removendo a graxa velha, sujeira, pintura ou outro material, usando um solvente como querosene. Depois de lubrificada, se necessário, evitar que as sujeiras grudem a superfície ou rosca.
4. o cuidado deve ser maior quando se tem atmosfera corrosivas, que podem danificar tampas lisas ou flangeadas, eixos rotativos e mancais. Deve-se especificar material compatível com a atmosfera corrosiva específica. Quando necessário, usar inibidores de corrosão. Na ocorrência de corrosão, os produtos dela devem ser removidos com solvente. Quando os produtos da corrosão são incapazes de serem removidos, ou quando sua remoção altera os espaçamentos críticos, a caixa a prova de explosão perde sua segurança e utilidade. Inspecionar periodicamente a caixa. O período de inspeção depende do grau de corrosividade da atmosfera, das paredes e das tampas das caixas. Embora os metais também sejam sujeitos ao ataque de solventes e corrosão como os plásticos, os efeitos desta deterioração são diferentes nestes materiais. O resultado da corrosão nos metais é visivelmente evidente; nos polímeros químicos, eles perdem a resistência sem evidencia visual do estrago. Os dados de testes mostram que as juntas com polímeros tendem a desgastar ou se corroer durante as explosões, reduzindo sua eficiência durante estes intervalos de tempo. Este fenômeno ocorre mesmo em materiais de poliéster reforçados com fibra de vidro.
5. drenar corretamente as caixas a prova de explosão que acumulam grande quantidade de condensado. Embora a umidade seja favorável a segurança, pois ajuda o resfriamento dos gases quentes, quando a temperatura e umidade ambientes são grandes, pode haver o acúmulo exagerado do ar condensado prejudicial ao funcionamento dos circuitos elétricos da caixa.

13. Cuidados

1. Todo equipamento à prova de explosão selecionado para uso em áreas perigosas deve ser projetado para classe e grupo específicos. Há diferenças no ponto de fulgor, pressão de explosão e temperatura de ignição.
2. O sistema à prova de explosão deve ser instalado e mantido somente por pessoal treinado e autorizado.
3. Todas as modificações e reparos devem ser documentados e feitos conforme as normas atualizadas existentes.
4. Os circuitos devem ser desligados antes da desmontagem de roscas ou juntas ou parafusos. Todas as caixas devem ser remontadas seguramente antes de religar os circuitos elétricos. Garantir que as conexões rosqueadas tenham, no mínimo, cinco roscas completas fixadas.
5. as juntas planas de terra devem ser protegidas contra danos mecânicos e materiais estranhos que poderiam evitar um encaixe perfeito. Martelos ou ferramentas de impacto devem ser evitadas para danificar estas superfícies; graxas, sujeiras, tintas e outros materiais devem ser removidos cuidadosamente antes da remontagem das juntas. Não se deve usar material abrasivo para remover a corrosão acumulada. Se a corrosão não puder ser removida por solvente, as peças devem ser substituídas.
6. Quando se remove o composto de selagem para modificação ou reparo, o sistema deve ser re-selado de acordo com as normas originais. O composto de selagem deve ter um ponto de fusão maior do que 100 ^{o}C e não deve ser afetado pelos gases ou líquidos voláteis cuja presença constitui o perigo.
7. Quando se armazenam equipamentos à prova de explosão, as tampas devem ficar montadas em seus corpos correspondentes. Deve-se aplicar um fino filme de óleo leve ou lubrificante do tipo recomendado pelo fabricante do

equipamento entre as superfícies da tampa e do corpo.
8. Deve-se apertar os parafusos corretamente quando se instala a caixa à prova de explosão. Somente os parafusos fornecidos pelo fabricante podem ser usados.
9. Deve-se apertar adequadamente as conexões rosqueadas para evitar o afrouxamento devido às vibrações. Os espaçamentos entre juntas, eixos e suportes devem ser mantidas dentro das tolerâncias estabelecidas pelo fabricante.
10. as tomadas de luminárias à prova de explosão devem ter a marcação adequada indicando a máxima potência que pode ser usada. O limite máximo nunca pode ser excedido.

14. Testes e Aprovação

Os testes para aprovar uma caixa à prova de explosão são feitos por um laboratório aceitável. O equipamento é, então, fornecido com a opção extra de prova de explosão e eventualmente possui um certificado de teste. Obviamente, os testes e o certificado são idôneos e confiáveis, de modo que o usuário deve acreditar na integridade da segurança do instrumento. É da exclusiva responsabilidade do usuário a montagem e a manutenção do equipamento adequadas, que não comprometam a segurança.

Há quatro tipos básicos de testes aplicados na aprovação de um invólucro a prova de explosão:

1. teste de explosão,
2. teste de temperatura,
3. teste hidrostático de pressão,
4. teste para determinação do MESG.

14.1. Teste de Explosão

O fabricante deve submeter o equipamento com proteção de invólucro à prova de chama a um teste de rotina. O teste de rotina feito para o invólucro à prova de chama inclui um teste de sobre-pressão executado de acordo com o procedimento prescrito. O objetivo do teste de rotina é garantir que, em um caso, os invólucros, tubulações e conexões irão suportar a pressão e em outro caso, que não há furos ou rachaduras que forneçam uma conexão descontrolada para o exterior.

O teste de explosão serve para

1. determinar a pressão a ser usada para o teste hidrostático,
2. determinar a resistência da construção do invólucro durante a explosão
3. garantir que o equipamento continua desempenhando sua função, durante as severas condições da ignição e da explosão e depois delas.

Na inspeção do tipo, uma mistura explosiva é incendiada dentro do invólucro e a pressão de explosão resultante é medida. O número de testes e as misturas de gás são determinados obrigatoriamente na norma EN 50 018:

1. Para equipamentos elétricos do Grupo IIA – 3 testes com (4,6 ± 0,3)% de propano
2. Para equipamentos elétricos do Grupo IIB – 3 testes com (8,0 ± 0,5)% de etileno
3. Para equipamentos elétricos do Grupo IIC – 5 testes com (14 ± 1)% de acetileno e 5 testes com (31 ± 1)% de hidrogênio.

O invólucro aprovado para o Grupo A não pode ser usado no Grupo B mas pode ser usado nos Grupos C e D. O invólucro aprovado para o Grupo B não pode ser usado no Grupo A, mas pode ser usado nos Grupos C e D. O invólucro aprovado para o Grupo C não pode ser usado no Grupos A e B, mas pode ser usado no Grupos D. O invólucro aprovado para o Grupo D só pode ser usado neste local e não pode ser usado em nenhum outro Grupo.

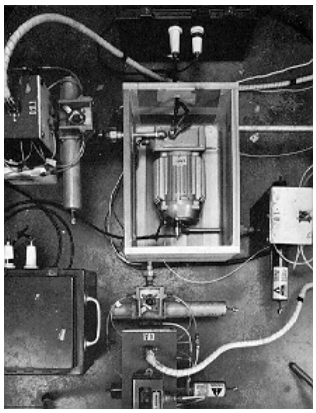


Fig. 5.24. Montagem para teste de explosão no Underwriters Laboratories Inc.

A série de testes é realizada nas composições criticas, em torno da estequiométrica. A mistura que produz a mais alta pressão não é a mais facilmente inflamável e nem a estequiométrica.

Os motores e geradores são testados em condições dinâmicas e estáticas. A turbulência normalmente provoca pressões de explosão mais elevadas.

Os testes são repetidos com uma variedade de misturas inflamáveis dentro da

faixa critica conhecida, em condições selecionadas, completando 10 a 20 testes.

Fig. 5.25. Montagem para teste de explosão no Factory Mutual.

14.2. Teste de Temperatura

O teste de temperatura é usado para:

1. determinar se o produto satisfaz as exigências de temperatura em todos os componentes e
2. colocar a marcação de temperatura adequada.

Os testes de temperatura feitos no equipamento a prova de explosão são essencialmente iguais aos feitos em equipamento de uso geral, com duas exceções:

1. as temperaturas são medidas na superfície externa da caixa a prova de explosão para determinar a temperatura de operação, no ambiente de 40 ^{O}C,
2. os testes são feitos também em condições anormais, com sobrecarga, rotor bloqueado, com apenas uma fase (motores e geradores) e com a armadura bloqueada (solenóides).

14.3. Teste Hidrostático de Pressão

O teste de pressão hidrostática é feito para demonstrar que a resistência da caixa é adequada para suportar a explosão, com o fator de segurança exigido.

Usa-se água ou outro liquido, em vez de ar, por questão de segurança durante os testes. O teste hidrostático é feito enchendo a caixa de água, tirando todo o ar e pressurizando o seu interior numa progressão de 700 a 4000 kPa/min (100 a 600 psig/min) até atingir a pressão máxima exigida. O invólucro deve suportar a pressão especificada durante um minuto, sem se romper e sem ficar permanentemente deformado. A pressão do teste hidrostático vale quatro vezes a pressão máxima da explosão da mistura específica.

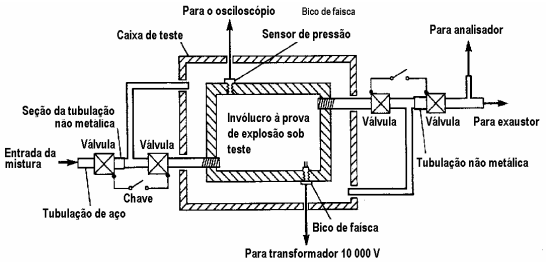


Fig. 5.26. Arranjo típico para teste de explosão, com tubulações paralelas. A seção não metálica da tubulação serve para isolar eletricamente o equipamento sob teste. As chaves colocam em curto circuito o sistema no enchimento e purga, para evitar o aparecimento de eletricidade estática.

14.4. Máximo Espaçamento Seguro Experimental

Sabe-se, desde o século passado, que a ignição de uma atmosfera inflamável pode ser evitada pela separação da atmosfera da fonte de ignição por uma tela ou um material com pequenas aberturas. Este princípio foi usado em operações subterrâneas de minas, onde o metano é um perigo constante (lâmpada Davy, 1815).

Este princípio foi usado quando os equipamentos elétricos começaram a ser usados em atmosferas inflamáveis e explosivas. Fez-se muita pesquisa para determinar os espaçamentos seguros em invólucros contendo circuitos elétricos perigosos localizados em atmosferas inflamáveis. Este espaçamento é chamado de máximo espaçamento seguro experimental ou MESG - maximum experimental safe gap.

No instrumento à prova de chama é esperado que a mistura inflamável entre no interior do instrumento, encontre uma fonte de energia perigosa e haja a ignição da mistura no interior. Porém, os gases queimados devem ser resfriados de modo que a combustão não se propague para fora. A proteção da caixa é feita pelo resfriamento destes gases, que ocorre neste espaçamento critico. O processo é complicado pois há turbulência, velocidades supersônicas e misturas complexas de gases quentes queimados e gases frios não queimados. É muito difícil determinar com precisão o MESG para determinada mistura. O tamanho e formato do espaçamento, a pressão forçando a ejeção do material, o tempo que os

gases levam para saírem, a temperatura dos gases queimados, o grau de turbulência e as condutividades termais das misturas são fatores críticos nesta determinação.

A pressão de injeção dos gases da caixa para fora através do espaçamento depende da composição da mistura dentro da caixa, do formato da caixa e do volume do material, da temperatura e energia de ignição dentro da caixa. O tempo depende do volume do material e sua taxa de queima.

O equipamento clássico para determinar o MESG é o Vaso de Teste de Explosão Westerberg.

14.4. Potência de dissipação

Para cada invólucro à prova de chama, o certificado especifica a dissipação de potencia admissível para o equipamento que ele aloja, para garantir a observância dos limites de temperatura durante a operação. Onde são instalados diferentes tipos de dispositivos no invólucro, o fabricante deve preparar a verificação para cada configuração mostrando que a soma das perdas de potencia de todos os dispositivos ou componentes instalados é igual ou menor que a dissipação de potencia admissível especificada no certificado.

15. Vantagens e Desvantagens

Os equipamentos a prova de explosão custam muito mais para o usuário comprar e montar do que os equipamentos de uso geral. Assim, é desejável projetar uma instalação de modo seguro, mas com o mínimo necessário de equipamento a prova de explosão. Isto é feito com bom senso, a partir da classificação de área, localização do equipamento e escolha de outras proteções alternativas mais econômicas. Quanto maior um equipamento, menos provável é que ele seja disponível na versão a prova de explosão.

Há uma grande variedade de equipamento a prova de explosão disponível para uso em locais Grupo D, porque este é o local mais comum na Classe I. Há grande quantidade de equipamento, diferentes de motores e geradores, convenientes para locais de Grupo C. Motores e geradores para locais de grupo C são pouco disponíveis.

Não há motores e geradores a prova de explosão para uso em local de Grupos A e B. Isto não significa que eles não pudessem ser projetados e construídos. Os problemas de projeto podem e, em circunstancias especiais, são superados. O fator é econômico. O problema é que as pequeníssimas tolerâncias para as juntas de eixo geralmente não podem ser atendidas em equipamentos fabricados em linha. Além disso, a demanda de motores para locais de Grupos A e B é extremamente limitada, não havendo incentivo econômico para seu projeto e fabricação.

As principais vantagens da proteção a prova de explosão ou prova de chama são as seguintes:

1. permite equipamentos faiscadores e manipulando altos níveis de energia em áreas perigosas,
2. a maioria das pessoas pensa que entende como a proteção funciona.

As desvantagens e limitações são:

1. ninguém sabe como ela funciona mas obviamente ela funciona,
2. o projeto mais antigo da caixa era difícil para prova de tempo,
3. não é permitido o serviço em operação sem a certeza da ausência do gás,
4. as caixas tendem a ser grandes e pesadas,
5. as conexões especiais são necessárias,
6. os erros de instalação ou as falhas são perigosas,
7. a integridade da segurança pode ser perdida com o tempo, com a manutenção inadequada e com a corrosão dos materiais.

16. Normas Aplicáveis

As normas brasileiras relacionadas, de algum modo, com a técnica de proteção alternativa de prova de explosão ou prova de chama são:

NBR 5363 *- Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Invólucros à prova de explosão - Tipo de proteção "d".*

IEC 79-1 *- Electrical apparatus for explosive atmospheres - Construction and test of flameproof enclosures of electrical apparatus.*

EN 50 018 *- Electrical apparatus for potentially explosives atmospheres - Flameproof enclosure "d".*

Pressurização, Ex-p

Objetivos de Ensino

1. *Conceituar equipamentos com a proteção de purga ou pressurização, mostrando vantagens, limitações e aplicações, inclusive em subestações.*
2. *Mostrar as características dos diferentes tipos de purga conforme NEC: X, Y e Z.*
3. *Listar as normas concernentes aplicáveis.*

1. Princípio de Funcionamento

Os conceitos de purga e de Pressurização são usados indistintamente, embora sejam diferentes. Rigorosamente, a purga está relacionada com a vazão, a Pressurização está associada com a pressão.

A purga ou a Pressurização (Ex "p") é o mais importante método alternativo de proteção de equipamentos elétricos usados em atmosferas inflamáveis cujo princípio de funcionamento se baseia no controle da composição da atmosfera perigosa. É também chamada de diluição continua.

Embora a Pressurização seja uma técnica complexa e cara, em algumas aplicações, é a única solução disponível.

Um invólucro para maquinas e equipamentos elétricos em que a entrada de gases ou vapores inflamáveis é evitada pela manutenção de ar ou outro gás não inflamável dentro do invólucro em uma pressão especificada acima da atmosfera externa.

Um invólucro para equipamentos elétricos em que uma vazão suficiente de ar ou gás inerte é mantida através da caixa para evitar a entrada de qualquer gás ou vapor inflamável que pode estar presente na atmosfera ambiente em que o invólucro está instalado.

Em qualquer situação, o sistema de purga-pressurização evita a entrada do gás inflamável no interior do instrumento elétrico pela manutenção de uma vazão ou pressão de um gás inerte ou ar puro para o interior do instrumento. Tem-se, assim, uma área classificada no exterior do instrumento e uma área segura, sem presença de gás inflamável, no interior do instrumento.

Os circuitos elétricos no interior do equipamento pressurizado são de uso geral, manipulando alto nível de energia e seus componentes podem atingir temperaturas elevadas. Os volumes, diferentemente os equipamentos a prova de explosão, podem ser grandes, podendo inclusive ter proporções de sala de controle.

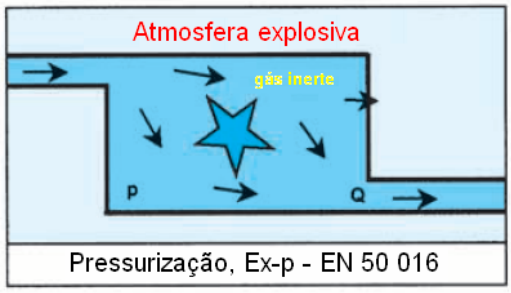


Fig. 6.1. Esquema da pressurização

A ventilação mecânica pode ser usada para fins de purga e pressurização. Na purga, a ventilação de ar ou gás inerte pode ser forçada ou induzida.

O ar é o meio de pressurização mais conveniente e é preferível ao gás inerte, por ser mais barato e por não constituir um perigo de asfixia. Para a purga, o gás inerte fornece um maior grau de proteção contra o perigo de inflamabilidade e é mais conveniente para pequenos invólucros mas o ar ainda é mais conveniente para grandes invólucros e para salas, por causa do perigo de asfixia. A fonte de ar ou gás inerte deve ser livre de gases inflamáveis e deve ser confiável. Pode ser necessário limpar ou secar o ar ou gás inerte usado na pressurização ou purga.

O conceito de Pressurização para segurança é aplicado também a equipamentos de potência, como motores, geradores e analisadores de composição.

A Pressurização pode ser feita com gás inerte, sendo o mais comum o nitrogênio. Por questões econômicas e de segurança humana, pode-se usar ar comprimido. O ar de instrumento é aceitável, porque é limpo e seco. O ar de serviço não serve para prover a purga pois é sujo e pode conter partículas de óleo.

Quando a purga é feita com ar comprimido, a tomada do compressor de ar deve estar localizada em local seguro. Toda a linha de sucção deve ser montada em local isento de gás inflamável. Quando a linha de secção através área classificada deve-se garantir que não haja possibilidade de entrada de gás perigoso para o seu interior.

A caixa a ser purgada ou pressurizada deve ser robusta, o suficiente para não ser danificada em acidentes de natureza previsível e nas condições normais de uso.

As janelas e tampas devem ter a espessura de 1/4", podendo ser de vidro temperado a prova de estilhaço. As caixas e os dutos devem suportar uma sobrepressão igual a 1,5 vezes a máxima pressão de trabalho nominal, porem, não menor que 2 mbar. As normas americanas recomendam apenas 1 mbar.

2. Tipos de Purga

Há dois tipos de pressurização:

1. Pressurização com purga contínua
2. Pressurização com compensação de vazamento

O gás inerte deve entrar no invólucro e sair dele fora da área perigosa. Com ambos os tipos, o invólucro do equipamento e todos seus dutos devem ser purgados antes da operação por um volume de gás que seja igual a 1/5 do volume do invólucro. Durante a operação, a sobrepressão deve ser monitorada e, se a sobrepressão cair, um sinal de alarme deve ser dado ou o equipamento deve ser desligado.

Normalmente, um indicador de vazão é usado em conjunto com um relé temporizado para monitorar a purga. O relé temporizado começa contar o tempo assim que começa a purga. Assim que o volume requerido de gás inerte tenha sido vazado através do invólucro, o relé temporizado liga o equipamento elétrico que está colocado dentro do invólucro. Se a purga pára ou se há uma queda da sobrepressão durante a operação, o indicador de vazão ou um indicador de pressão fecha o contato que desliga o equipamento ou soa um alarme.

O encapsulamento do equipamento deve estar de conformidade com o grau de proteção mínimo de IP 40 conforme EN 60 529. Deve-se evitar a propagação de chamas, faíscas ou partículas ignitáveis para a atmosfera potencialmente explosiva.

Dependendo da Zona onde é utilizado o equipamento (Zona 1 ou Zona 2) e dependendo do tipo de circuito elétrico contido no interior da caixa (por exemplo, uso geral, não-incenditivo, não-faiscador), são definidos três tipos de Pressurização; segundo ISA S 12.4:

1. Tipo Z - purga para reduzir a classificação do interior do instrumento de Zona 2 para não-perigosa.
2. Tipo Y - purga para reduzir a classificação do interior do instrumento de Zona 1 para Zona 2.
3. Tipo X - purga para reduzir a classificação do interior do instrumento de Zona 1 para não-perigosa.

Dependendo do tipo de purga-pressurização deve-se fornecer o sistema com técnicas adicionais de salvaguardas ao sistema inicial de proteção.

As normas européias, por exemplo, não aceitam tipos diferentes de purga, como as americanas que definem purga dos tipos X, Y e Z.

2.1. Purga Tipo Z

A purga tipo Z reduz a classificação de área de Zona 2 para não perigosa. Ela permite a instalação de equipamento de uso geral no interior da caixa pressurizada ou purgada. Para se ter uma explosão de um sistema de purga tipo Z, deve-se ter uma falha no sistema de purga (pouco provável) e outra falha no processo, para liberar gases inflamáveis (conceito de Zona 2), que também é pouco provável.

Como são necessárias duas falhas independentes e pouco prováveis, a proteção total do sistema já é suficiente e não se necessita fornecer salvaguarda adicional ao sistema de purga.

A instalação com purga tipo Z possui, geralmente, um indicador ou alarme para indicar que o sistema de Pressurização está operativo. A probabilidade que o processo falhe e torne o local perigoso antes que o sistema de alarme do sistema de falha da purga seja acionado é admitida como zero. Qualquer indicador ou alarme, se elétrico, deve satisfazer as exigências de Zona 2. Geralmente deve ser a prova de explosão, pois durante a ausência de Pressurização, quando o sistema ficar perigoso, o circuito elétrico não pode provocar explosão ao exterior.

Quando se usa um manômetro para indicar a pressão do sistema de proteção, nenhuma válvula pode ser instalada entre o indicador e a

caixa pressurizada. Qualquer restrição entre a caixa pressurizada e o indicador de pressão não pode ser menor que a menor restrição no lado de suprimento da pressão. Essa exigência diminui a probabilidade da restrição se entupir, evitando a indicação de que houve falha no sistema de Pressurização.

Se a caixa pressurizada precisa ser aberta, deve-se garantir que a área não contenha a atmosfera perigosa ou a alimentação elétrica seja desligada do instrumento sob purga. Depois que um instrumento é aberto e recolocado em operação, ele deve ser purgado com o mínimo de quatro volumes da caixa antes de ser energizado, a não ser que seguramente a atmosfera do interior seja não perigosa.

Quando o sistema de purga está em operação deve haver uma pressão mínima de 2,5 mm de coluna d'água no interior da caixa. A vazão requerida para manter essa pressão é quase desprezível e é somente uma função da construção da caixa.

Muitas pessoas consideram essa pressão de 2,5 mm de coluna d'água muito pequena; a norma CENELEC recomenda 5,0 mm de coluna d'água. Porem, 2,5 mm de coluna d'água é uma pressão suficiente para garantir a segurança com ventos de aproximadamente 25 km/h. Com um vento acima de 25 km/h é pouco provável que a atmosfera seja perigosa, pois o vento com esta velocidade já dispersa os vapores de qualquer fonte gasosa perigosa.

A temperatura da caixa do sistema de purga Z não deve exceder 80% da temperatura de ignição, dada em ^{O}C, do gás ou vapor envolvido, quando o equipamento estiver operando na situação menos favorável de 125% da tensão elétrica nominal.

Uma advertência deve ser colocada numa plaqueta facilmente visível, talvez vermelha, fixada no instrumento, recomendando que a caixa só pode ser aberta em duas condições possíveis:

1. a fonte elétrica de alimentação está desligada
2. a atmosfera vizinha a caixa é segura, garantida por analisadores de gás.

Deve estar claramente indicado no instrumento o local onde deve ser aplicada a purga-pressurização.

2.2. Purga Tipo Y

A purga tipo Y reduz a classificação do interior do instrumento de Zona 1 para Zona 2 e permite o uso de equipamento classificado para Zona 2 em Zona 1, como o instrumento não-incenditivo e de segurança aumentada. Como o equipamento não-incenditivo já possui grau de segurança, nenhum intertravamento é requerido para a purga tipo Y. Só poderá haver explosão no sistema quando houver uma falha, pouco provável, no equipamento não-incenditivo e outra falha no sistema de purga, também pouco provável. Embora a Zona 1, onde está aplicado todo o sistema, seja altamente provável de ter gás perigoso, o sistema de purga Y é seguro e nenhum sistema de proteção à purga é necessário.

A unidade elétrica da caixa deve possuir fusível. O tamanho do fusível é escolhido levando-se em conta a espessura da caixa e a composição do gás do exterior. Gráficos, obtidos de testes experimentais, devem ser usados para determinar o dimensionamento do fusível e são disponíveis na literatura técnica especializada.

Todas as exigências da purga tipo Z, mostradas anteriormente, devem ser satisfeitas na purga tipo Y.

2.3. Purga Tipo X

A purga tipo X reduz a classificação no interior do instrumento de Zona 1 para uso geral, e desse modo, permite o uso de equipamento de uso dentro da caixa sob purga, montada em Zona 1. A purga tipo X é projetada para permitir a operação de equipamento de uso geral, que é o mais perigoso possível, pois pode provocar faíscas de alto nível de energia, dentro de caixa colocada na área perigosa de Zona 1, que é a mais perigosa possível, pois pode conter gases inflamáveis em condições normais.

Como o sistema de purga é a única proteção, ele sozinho é insuficiente para fornecer a segurança necessária para o uso em Zona 1. Usa-se, pois, outro sistema de proteção que desliga a energia elétrica quando houver falha no sistema de purga. Nessa situação nova, só haverá explosão quando houver duas falhas, de probabilidades individuais pequenas: uma no sistema de purga e outra no sistema de intertravamento do sistema de purga.

Todas as exigências para as purgas do tipo Z e do tipo Y devem ser satisfeitas. Essas exigências incluem a correta dimensão do fusível, espessura das paredes da caixa e instalação de pressostato.

Em adição, deve-se incorporar um sistema que desligue automaticamente todos os circuitos elétricos dentro da caixa, que não podem estar energizados na Zona 1, que passa a ser a classificação no interior da caixa, na falta de Pressurização. Essa chave de desligamento elétrico pode ser acionada por pressão ou por vazão. Qualquer que seja,

como é de natureza elétrica, deve satisfazer as exigências para uso em Zona 1, mesmo que ela seja usada em local seguro, porque a chave pode estar energizada antes que o sistema de purga torne seguro o interior do equipamento e durante os períodos de falha do sistema.

Como a atmosfera circundante à caixa é Zona 1, a tampa do instrumento deve ser trancada a chave ou então só pode ser aberta com ferramenta especial. Essas características diminuem a possibilidade de pessoas não autorizadas possam comprometer a segurança do sistema.

Finalmente, quando aberta, a caixa deve ser automaticamente desligada da alimentação elétrica. A chave elétrica, atuada por chaves de fim de curso, é também de natureza elétrica e portanto deve satisfazer as exigências de uso em Zona 1.

Um temporizador deve ser adicionado para evitar que se aplique potência elétrica antes que seja purgado o volume mínimo de quatro caixas e seja mantida a pressão mínima de 2,5 ou 5,0 mm de coluna d'água no interior da caixa. O temporizador, se elétrico, deve satisfazer normas de uso em Zona 1.

3. Vantagens e Desvantagens

As vantagens da Pressurização ou Purga como técnica de proteção são:

1. algumas vezes, a única solução
2. pode proteger grandes volumes, painéis e salas de controle
3. pode ter grande margem de erro antes de resultar em perigo

As desvantagens são:

1. o ar limpo para ser livre de contaminantes deve ser bombeado, filtrado e secado.
2. o sistema de controle é complexo, incluindo outras formas de proteção
3. a manutenção em operação não é permitida
4. a isolação completa de todas as interligações pode ser difícil

4. Testes

Invólucro pressurizado, como qualquer outra proteção, que deve ser sujeito a algum tipo de teste ou aceitação. Além da pressurização continua, as normas exigem a monitoração do suprimento do ar ou do gás inerte. No evento de um defeito, o equipamento elétrico alojado no invólucro deve ser desenergizado imediatamente. Uma purga preliminar é feita com 5 vezes o volume do invólucro.

O tempo de purga começa quando a vazão especificada do meio de purga é atingida (o medidor de vazão incorporado na chave de pressão). Com a segunda geração de normas, os dispositivos de controle devem, alem de satisfazer as exigências das normas EN 50 026 e IEC 60 079-2, ser submetidos a testes funcionais conforme a EN 954-1, Categoria 3, para componentes relacionados com a segurança do sistema de controle.

Equipamento com conexões simples de ar comprimido sem o teste apropriado infelizmente ocorrem freqüentemente, na prática, mas de nenhum modo satisfazem as provisões relevantes. Em vista da legislação de garantia do produto novo e as regulações de baixa tensão, o uso de tais técnicas para evitar conformidade com as exigências aplicáveis podem ter conseqüências extremamente desagradáveis e custosas.

5. Marcação

Como nas outras purgas, deve-se fornecer os equipamentos sob purga com etiquetas de identificação com advertências especificas de segurança. A marcação do equipamento deve fornecer as informações:

1. nome do fabricante ou marca registrada,
2. modelo do instrumento, função, dados de calibração,
3. símbolo da proteção purga (IEC, EEx "p"),
4. classe, grupo, zona do local onde pode ser usado,
5. classe de temperatura ou valor máximo da temperatura,
6. numero de série do fabricante,
7. indicação dos testes ou numero de certificação,
8. volume livre interno da caixa e mínima quantidade de gás protetor necessária para a purga,
9. mínima sobrepressão permissível em serviço e, se necessário, mínima vazão,
10. advertência do tipo:

INSTRUMENTO COM PURGA
NÃO ABRIR QUANDO ENERGIZADO.
SÓ LIGAR DEPOIS DE (x) MINUTOS DE PURGA

.

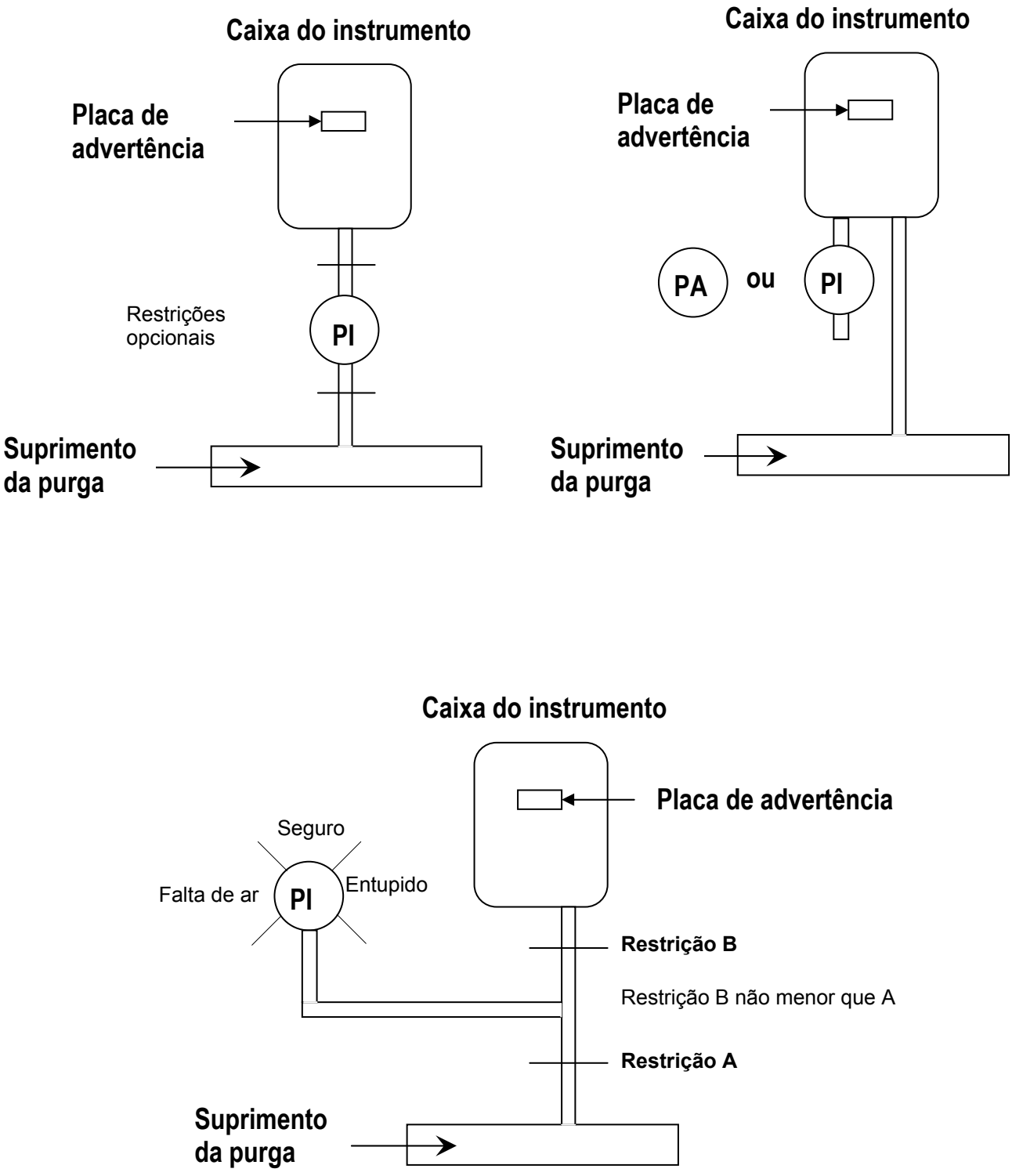


Fig. 6.2. Instalações aceitáveis para purgas do tipo Y e Z (ISA S12.4)

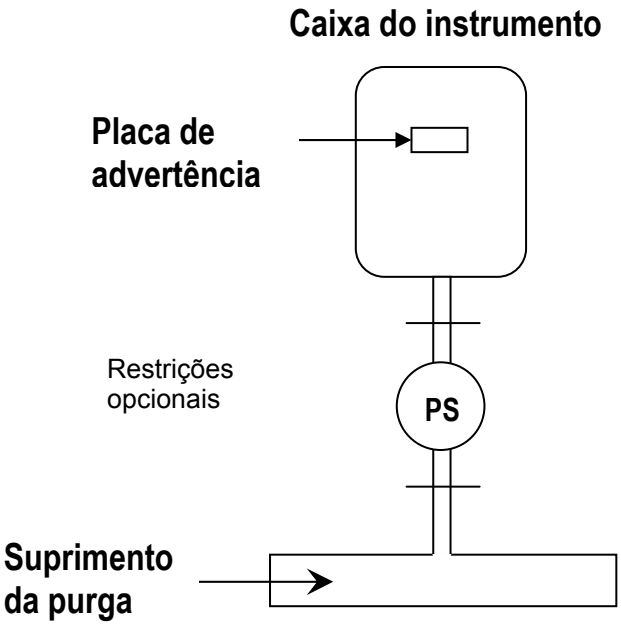


Fig. 6.3. Pressurização tipo X (ISA S 12.4)

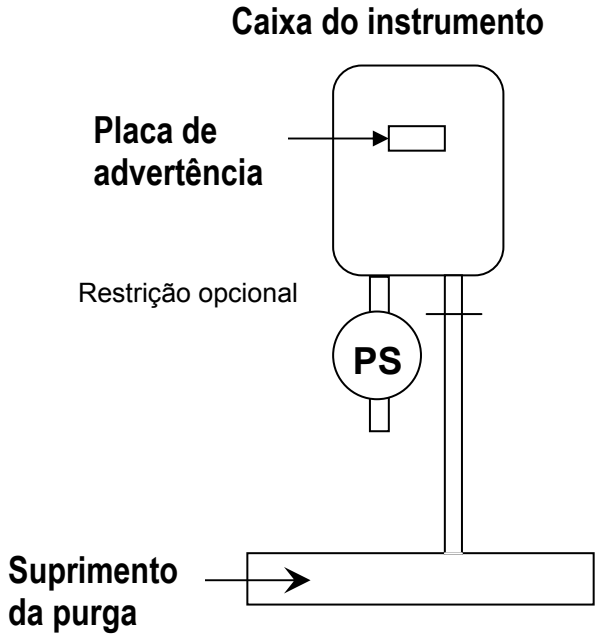


Fig. 6.4. Pressurização tipo X (ISA S 12.4)

Fig. 6.5. Shelter (abrigo) pressuizado

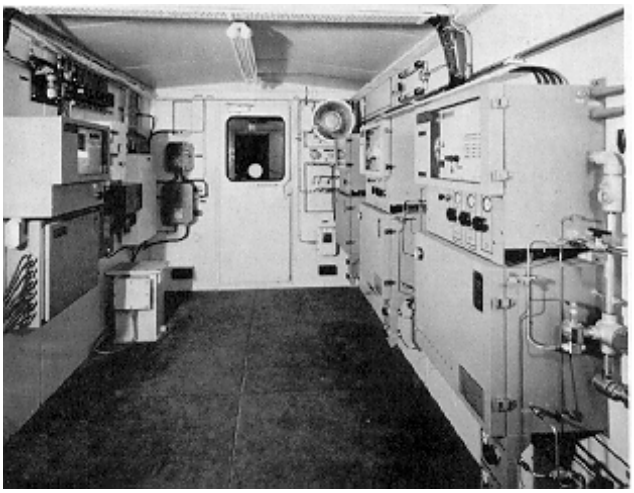


Fig. .6. Shelter (abrigo) pressurizado

6. Ventilação de Subestação

6.1. Introdução

Por motivos econômicos, operacionais e disponibilidade de espaço os prédios das subestações são geralmente localizados próximos às unidades de processo industriais e por isso eles ficam em locais de área classificada.

A classificação da área requer equipamentos elétricos com construção adequada compatível com o risco apresentado (Classe, Grupo, Zona).

Considerando as desvantagens da técnica alternativa de prova de explosão, como alto custo de equipamentos e sua instalação, difícil manuseio de componentes por causa do grande peso e volume, restrições de acesso e impossibilidade de execução de manutenção em circuitos vivos, a técnica de proteção mais usada é a de pressurizar a sala da subestação ou então fornecer uma ventilação forçada para alterar a classificação da área para segura.

Se o local ficar seguro, por causa da ventilação forçada ou da pressurização, podem ser utilizados equipamentos de uso geral, resultando em vantagens como menor custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, facilidade de manuseio dos componentes, possibilidade de fazer manutenção em partes vivas do circuito, intercambiabilidade de componentes, facilidade de executar interligações e intertravamentos.

6.2. Pressurização e Ventilação

O sistema de pressurização e ventilação deve ser projetado considerando-se a pressão, temperatura e umidade internas. Através do insuflamento de ar não contaminado para o ambiente a ser pressurizado, consegue-se que a pressão interna maior que a externa, evitando a entrada de misturas de gases ou vapores inflamáveis no ambiente onde há a presença permanente de equipamentos elétricos com nível de energia elétrica e termina perigoso. A temperatura interna também não deverá ultrapassar um valor predeterminado, normalmente 40 ^{o}C para subestações sem operador a fim de não causar danos aos dispositivos elétricos.

O diferencial de pressão entre a pressão interna e externa típico de projeto é de 6 mm de coluna d'água. , valor esse considerado como de projeto. A temperatura do ar de insuflamento típica de projeto é a temperatura máxima medida no local, no verão.

Depois de definidos os valores da pressão diferencial e da temperatura, deve-se calcular a quantidade de calor recebida pela fontes externas e gerada pelas fontes internas no ambiente. São exemplos de fontes internas de calor: luminárias, reatores, transformadores, barramento, fiação, lâmpadas de sinalização, resistores de aquecimento, bobinas de solenóides e reles. A principal fonte externa de calor é o sol. Os dados de dissipação térmica dos equipamentos internos do prédio geralmente são fornecidos pelo respectivos fabricantes. O calor devido à insolação, incluindo a transmissão pelas paredes e teto deve ser calculado.

Após levantados todos os dados térmicos, a vazão de ar necessária para que o sistema opere dentro dos valores esperados pode ser calculada. Este valor é usado para o dimensionamento dos equipamentos. A pressão fornecida pelo ventilador deve levar em conta também as perdas de carga totais, incluindo eventuais os dutos de insuflamento.

O ar insuflado será expelido para o meio externo através de venezianas automáticas de pressão. A posição correta destas venezianas mantém o diferencial de pressão necessário. Em caso de falta da pressão, um pressostato irá fecha-las automaticamente. Quando fechadas, elas devem fornecer vedação completa.

Quando o prédio da subestação possui sala de baterias de reserva, deve-se manter a pressão nesta sala ligeiramente inferior à dos demais ambientes, com a finalidade de evitar que os gases corrosivos emanados pelas baterias penetrem na sala de painéis e demais dependências. Isto é conseguido fazendo-se com que o ar penetre na sala de baterias através de venezianas colocadas na porta de entrada desta e seja expelido para o exterior depois de passar por toda a extensão da sala. Esse caminho obrigatório do ar é suficiente para manter a sala de baterias com uma pressão ligeiramente inferior à sala dos painéis.

6.3. Tomada do Ar de Pressurização

A captação de ar deve feita em local livre de contaminação de gás ou vapor inflamável. O ar deve ser limpo e por isso deve passar por filtros e secadores. A localização do duto de captação de ar deve ser cuidadosamente analisado em função:

1. do mapa de classificação de áreas
2. das direções predominantes de vento.
3. das eventuais fontes de liberação de gases ou vapores inflamáveis, explosivos ou tóxicos.

Da análise desses dados, definem-se a posição e a altura em relação ao solo da tomada de ar. O material do duto de captação de ar não poderá ser inflamável. Neste caso é comum preferir-se dutos de alvenaria ou concreto, uma vez que os dutos metálicos requerem manutenção constante contra a corrosão.

A área livre para a passagem do ar deve ser calculada de modo que a velocidade do ar fique dentro de valores considerados como dutos de baixa velocidade (1,5 m/s) com a finalidade de limitar o nível de ruído.

6.4. Unidades de Ventilação

Para subestação localizada em área classificada, comumente se especificam duas unidades de pressurização e ventilação, dimensionadas de modo que somente uma unidade seja capaz de manter o sistema operando nas condições de projeto e a outra permanecendo como reserva, entrando em funcionamento sempre que houver queda acentuada de pressão ou elevação de temperatura acima do esperado. Pressostatos e termostatos convenientemente ajustados nos valores selecionados efetuam a entrada e saída de operação da segunda unidade.

Usam-se também alarmes e indicadores para monitorar as condições normais e anormais de operação. Devem ser alarmadas: pressão (mínima) e temperatura (máxima) e indicados: : status de cada estação (ligada ou desligada), temperatura e pressão ambientes.

No caso de prédios situados em áreas não classificadas, onde não seria necessário instalar um sistema de pressurização e ventilação, há um consenso de que as vantagens que se obtém aplicando tal sistema compensam o investimento. Os painéis operam em ambientes livres de poeira e de partículas estranhas e com temperatura amena, o que aumenta a vida útil dos dispositivos elétricos, principalmente os seus contatos. Neste caso, adota-se um único sistema de Pressurização, com apenas uma unidade operando, uma vez que uma eventual parada não causaria nenhum problema de segurança. As demais condições geralmente são mantidas.

Antes de se energizar o ambiente em que tenha havido anteriormente falha no sistema de pressurização deve-se verificar através de analisadores apropriados a existência de mistura explosível ou inflamável.

No projeto do sistema, as chaves, contatores, reles e motores usados no sistema de Pressurização devem ser adequados à classificação da área sem a Pressurização.

7.5. Projeto do Sistema

Além das plantas de arquitetura e o layout de equipamentos, devem ser fornecidas ao projetista do sistema as seguintes informações adicionais:

1. quantidade de pessoas presentes normalmente no ambiente;
2. quantidade, tipo e características dos equipamentos instalados no prédio, como painéis, baterias, carregadores de baterias, transformadores, luminárias.
3. temperaturas ambientes máximas permitidas para operação dos equipamentos, dissipação térmica dos mesmos, inclusive relativo às cargas de iluminação;
4. planta da localização do prédio onde será instalado o sistema, em relação à unidade de processo, bem como o plano de classificação de áreas da região.

7.6. Purga contra Pó

As exigências para a purga de redução de perigo em locais de Classe II são semelhantes às de Classe I, ou seja:

1. a pressão interna não pode ser menor do que 25 Pa, se a densidade da partícula especifica do pó for igual ou menor do que $2,1 \times 10^3$ kg/m^3. Se a densidade for maior, a pressão interna deve ser mantida, no mínimo, em 125 Pa.
2. não é necessário o intertravamento nas portas se houver chave ou ferramenta especial para abertura. Deve haver avisos contra abertura da porta.
3. a máxima temperatura da superfície das peças expostas ao pó não pode exceder a 80% da temperatura de ignição da camada do pó (^{o}C), mas deve ser, no mínimo, 50 ^{o}C abaixo da temperatura de ignição da camada. Os componentes internos tendo temperatura maior do que destes limites devem ser fechadas em uma câmara selada. Ou então, o invólucro pode ser equipado com uma placa de advertência instruindo o usuário para desenergizar o equipamento durante um tempo suficiente antes de abrir o invólucro para garantir que o componente quente foi resfriado para uma temperatura segura.
4. deve haver alarme (sonoro ou visual) ou indicação da perda da pressão de purga.

motores, transformadores e outros equipamentos sujeitos a sobrecarga devem ter mecanismos automáticos de desligamento por causa de alta temperatura.

Segurança Intrínseca, Ex-i

Objetivos de Ensino

1. *Conceituar a proteção de segurança intrínseca e os parâmetros associados de condição segura e insegura e componentes infalíveis.*
2. *Apresentar a barreira zener de segurança intrínseca e unidades de isolação e os meios de especificar, escolher, testar, instalar e inspecionar as diferentes barreiras.*
3. *Listar os cuidados relacionados com a instalação e sistema intrinsecamente seguro, como aterramento, fiação, segregação e inspeção.*
4. *Listar as normas concernentes à segurança intrínseca.*

1. Introdução

1.1. Histórico

A segurança intrínseca foi desenvolvida pela primeira vez na Inglaterra, depois do acidente de Welsh (1913) onde 439 mineiros foram mortos. As investigações mostraram que as faíscas do sistema de sinalização provocaram a ignição do gás metano presente. A explosão não teria acontecido se as faíscas fossem suprimidas. Esta técnica foi usada apenas em minas até 1936, quando foi emitido o primeiro certificado para a aplicação em superfície. A primeira norma formal foi emitida em 1945 (BS 1259). Em 1960 foi introduzida a barreira de segurança com resistores e diodo Zener. Desde então, a segurança intrínseca se desenvolveu continuamente e as normas relevantes convergem todas para um único objetivo, sob a orientação da Comissão Internacional de Eletrotécnica (IEC): Norma IEC 79-11. Há ainda pequenas divergências de terminologia entre a comunidade européia e os EUA e Canadá.

A técnica de segurança é muito usada na Europa, recebida com confusão nos EUA, pouco usada no Japão e pouco conhecida no Brasil. Muitos usuários tem ouvido falar sobre ela e querem conhece-la mais, porém, se sentem confusos em aplicar produtos com aprovação de segurança intrínseca. Nos EUA, somente a partir da edição de 1990 do NEC, a segurança intrínseca passou a ser parte da Seção 504. A grande variedade de equipamentos no mercado e o aparente grande número de cálculos afugentam o instrumentista do conceito de segurança intrínseca.

1.2. Conceito

A segurança intrínseca é uma técnica alternativa de proteção, aplicada a instrumentos de controle e de comunicação, que manipulam baixo nível de energia elétrica e térmica, que evita a explosão ou incêndio, pelo cuidado especial da fonte de ignição. É um conceito intimamente associado à limitação da energia fornecida e armazenada na área perigosa.

Por definição, um sistema é intrinsecamente seguro quando seu equipamento e incapaz de liberar energia elétrica ou térmica e sua respectiva fiação é incapaz de armazenar energia elétrica suficiente para provocar a ignição de uma mistura específica de gás inflamável, em condições normais e duas condições anormais específicas. A segurança intrínseca evita explosões causadas por faíscas elétricas e superfícies quentes cuidando da fonte de energia. Essa definição se refere a sistema completo, porém, é aplicável também a instrumentos e equipamentos individuais, se estendendo à fiação do campo.

O conceito genérico de segurança intrínseca é extremamente simples, porém os detalhes de aplicação são complicados. Para a aplicação prática do conceito devem ser atendidas três questões:

1. qual a energia necessária para causar a ignição,
2. como é definida a atmosfera perigosa,
3. o que é condição anormal de operação.

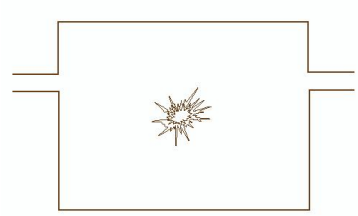


Fig. 7.1. Na proteção de segurança intrínseca a energia disponível na área perigosa é insuficiente para provocar ignição na mistura de gases inflamáveis

2. Definições

Área Perigosa

Para o sistema intrinsecamente seguro, área perigosa tem o mesmo significado geral: local em que há ou é esperado haver misturas explosivas ar e gás combustível em quantidades que exijam precauções especiais para a construção e uso de equipamentos elétricos. Quanto a definição de atmosfera perigosa ou o nível de perigo apresentado pela atmosfera inflamável, o ponto de partida é a classificação da área: Classe, Grupo e Zona.

O instrumento com certificação de segurança intrínseca deve ter aprovação específica para determinada área. O certificado determina e limita o uso do equipamento aprovado para determinada Classe e Grupo. A técnica de segurança intrínseca é uma das poucas proteções que pode ser usada em locais de Zona 0.

Circuito intrinsecamente seguro

Diferente de outros tipos de proteção contra explosão, onde a proteção contra a explosão é sempre relacionada com os equipamentos individuais, o tipo de proteção segurança intrínseca considera o circuito completo.

Um circuito intrinsecamente seguro é aquele em que nenhuma faísca ou efeito termal será produzido que seja capaz de causar a ignição de uma atmosfera explosiva definida, onde as condições de teste para operação normal e condições de falha definida especificadas na norma são considerados.

Classificação ia e ib

A norma **EN 50 020** define dois graus de proteção:

1. Ex ia - Segurança intrínseca com duas falhas, para uso em Zonas 0, 1 e 2.
2. Ex ib - Segurança intrínseca com uma falha, para uso em Zonas 1 e 2,

No nível de segurança –ia, se uma única falha ou qualquer combinação de duas falhas ocorrer durante a operação normal, o equipamento elétrico da categoria –ia- não deve ser capaz de causar uma ignição. Aqui os seguintes fatores de segurança são considerados:

- Fator de segurança 1,5, durante operação normal e com uma falha
- Fator de segurança 1,0, com duas falhas

No nível de segurança –ib, o equipamento elétrico não deve ser capaz de causar uma ignição, durante a operação normal e com a ocorrência de uma única falha. Aqui o seguinte fator de segurança é considerado: 1,5 durante operação normal e com uma falha.

Composição e energia de ignição

Os testes de laboratório fornecem dados e curvas relacionadas com a ignição das misturas perigosas específicas. Cada mistura específica possui sua curva característica de energia de ignição. A curva (energia de ignição x % da mistura com o ar) é parabólica, com seus limites inferior e superior de inflamabilidade e sua energia mínima de ignição que corresponde à concentração mais facilmente inflamável.

A partir da mistura gasosa envolvida na aplicação, determina-se qual a energia mínima de ignição. A partir da energia mínima capaz de provocar a ignição da mistura em questão, considerando sempre a concentração de mais fácil ignição, determinam-se a tensão e a corrente elétricas máximas permissíveis. Na prática e felizmente, os níveis permitidos de tensão e corrente para o uso seguro são compatíveis com os níveis de tensão e corrente típicos de instrumentação. Para facilitar as aplicações, são disponíveis curvas que fornecem diretamente a corrente de ignição versus a tensão do circuito aberto, para misturas específicas dos gases. Como as faixas de corrente e tensão para instrumentação são da ordem de 4 a 20 mA cc e 24 V cc, mesmo para as misturas mais perigosas de acetileno e hidrogênio, há um grande fator de segurança na aplicação de segurança intrínseca.

O conceito de segurança intrínseca se baseia na limitação da energia entregue da área segura para a área perigosa. Para executar e garantir a limitação da energia que entra na área perigosa, são usadas barreiras passivas de energia ou unidades com isolação galvânica.

Condição Normal e Anormal

A definição de segurança intrínseca considera as condições normal e anormal de operação do sistema.

A operação normal para o sistema intrinsecamente seguro ou associado ocorre quando ele está de conformidade com as especificações de seu projeto elétrico e mecânico e é usado dentro dos limites especificados pelo fabricante. Em detalhes, a operação normal inclui todas as seguintes situações:

1. a tensão de alimentação no máximo valor especificado,
2. as condições de contorno dentro das especificações dadas para os equipamentos intrinsecamente seguros ou associados,
3. as tolerâncias de todos os componentes na combinação que representa a condição mais desfavorável,
4. as aberturas de qualquer um dos fios do campo, curto circuito entre quaisquer dois fios de campo, contato com o terra de qualquer fio do campo do circuito intrinsecamente seguro sendo considerado.

Condição anormal ou falha é um defeito de qualquer componente ou de uma conexão entre componentes, da qual depende a segurança intrínseca do circuito. Se uma falha resulta em outra falha subseqüente, as duas falhas são consideradas como apenas uma falha. São exemplos de falhas, para o sistema intrinsecamente seguro:

1. curto circuito entre o primário e o secundário de um transformador,
2. abertura de circuito do diodo Zener em paralelo,
3. curto circuito do resistor limitador de corrente da barreira de segurança,
4. curto circuito e contato com o terra de qualquer componente protetor ou que esteja relacionado com a segurança.

O projeto e a construção do sistema intrinsecamente seguro através de arranjos mecânicos e componentes críticos protetores (chamados *infalíveis*) tornam muito pequena a probabilidade de ocorrência destas falhas. Desde que as normas de construção sejam satisfeitas, o equipamento é considerado não sujeito a falhas. Porém, se as condições não são satisfeitas, presume-se que o equipamento possa falhar e isso é levado em conta para o fator de segurança.

O curto-circuito, a abertura do circuito, o contato direto com o terra, situações muito prováveis, são consideradas como operação normal, pois o sistema é projetado de modo que elas não comprometam a segurança.

As falhas específicas se referem a outros circuitos e a outros tipos de problemas. Na segurança intrínseca, só se perde a segurança quando ocorrem duas falhas específicas e independentes entre si, o que constitui uma pequeníssima probabilidade.

É importante também ter a garantia de que o circuito intrinsecamente seguro irá funcionar quando o sistema estiver nas condições normais. Com a colocação do resistor limitante de corrente, haverá uma queda de tensão através dos terminais entrada-saída da barreira. Esta queda de tensão deve ser considerada no projeto do circuito.

Energia mínima de ignição

Uma energia mínima de ignição é requerida para provocar a ignição de uma mistura explosiva. Como resultado de uma fonte de ignição externa, por exemplo uma faísca elétrica, uma alta temperatura é gerada localmente em uma pequena área de volume de uma atmosfera explosiva, resultando em combustão. O calor produzido por uma faísca e a combustão resultante aquece as camadas vizinhas, enquanto, ao mesmo tempo, devido à condução do calor, a energia é dissipada para fora. Se o calor dissipado é maior que o calor fornecido e gerado, uma propagação da combustão para as áreas vizinhas não é possível.

Somente se a quantidade de energia fornecida por uma fonte de ignição externa seja suficiente para a temperatura das camadas vizinhas elevar acima de sua temperatura de ignição, a combustão é automaticamente propagada e resulta uma explosão.

O tipo de proteção de segurança intrínseca faz uso deste conhecimento fundamental. Os valores elétricos de um circuito são limitados, de modo que um grau que a mínima energia de ignição requerida para uma ignição não é atingida.

A mínima energia de ignição de uma mistura gás + ar ou vapor + ar é a mais baixa energia elétrica possível ocorrendo quando um capacitor é descarregado que é ainda capaz de provocar a ignição da mistura mais volátil de gás + ar ou vapor + ar, à pressão atmosférica e a 20 ^{o}C.

Equipamento elétrico intrinsecamente seguro

Dependendo do projeto e objetivo, o equipamento com proteção tipo segurança intrínseca é subdividido em equipamentos elétricos intrinsecamente seguros e associados.

Equipamento elétrico intrinsecamente seguro é o aquele em que todos os circuitos são intrinsecamente seguros.

Há uma diferença entre os seguintes tipos de equipamentos intrinsecamente seguros:

1. Equipamento intrinsecamente seguro ativo
2. Equipamento intrinsecamente seguro passivo sem energia armazenada
3. Equipamento intrinsecamente seguro passivo com energia armazenada

Equipamento elétrico associado

Equipamento elétrico associado é aquele em que nem todos os circuitos são intrinsecamente seguros, mas que contem circuitos que podem afetar a segurança dos circuitos intrinsecamente seguros aos quais ele está ligado.

Equipamentos associados podem ser:

Equipamento elétrico de conformidade com outro tipo de proteção estabelecido na norma de Exigências Gerais, EN 50 014, considerando que ele seja adequado para uso nas atmosferas potencialmente explosivas

Equipamento elétrico que não esteja de conformidade com qualquer tipo de proteção e portanto não pode ser usado em atmosferas potencialmente explosivas.

Equipamento Simples

Equipamento simples é o equipamento que não gera tensão maior que 1.2 V e corrente maior que 0.1 A e não armazena energia maior que 20 μ J ou a potência maior que 25 mW no sistema de segurança intrínseca, nas condições normal e anormal, de acordo com as especificações do fabricante. Os equipamentos simples são componentes ativos ou passivos puramente resistivos e seus exemplos típicos são: contatos simples, termopares, RTDs, LEDs, fotocélulas, strain-gages, potenciômetros não indutivos, resistores, caixas de passagem e de terminais, plugues e soquetes.

Os equipamentos e componentes elétricos simples podem ser usados em sistemas intrinsecamente seguros, sem certificação. Eles devem satisfazer as exigências de isolação e distâncias das normas. A classificação de temperatura dos equipamentos é no máximo de T4 (135 ^{O}C). As caixas de junção e as chaves devem ter classificação de temperatura T6 (85 ^{O}C), por não conter componentes dissipadores de energia.

Um equipamento simples, sem certificação de segurança intrínseca, ligado a uma barreira de segurança intrínseca, constitui um sistema intrinsecamente seguro.

O sistema simples é aquele em que todos os equipamentos elétricos são certificados como intrinsecamente seguros e por isso não precisa ser certificado individualmente, pois está completamente claro das informações disponíveis que o sistema é intrinsecamente seguro. Ele deve satisfazer as exigências gerais de EN 50 014.

Equipamento Não simples

Equipamento não simples é o equipamento que gera tensão maior que 1.2 V e corrente maior que 0.1 A e armazena energia maior que 20 μJ ou potência maior que 25 mW.

Um equipamento não simples pode criar ou armazenar energia, com parâmetros indutivo e capacitivo. Exemplos típicos de equipamentos não simples são: transmissor eletrônico indutivo ou capacitivo, transdutor I/P, indicador, detector de proximidade, alto-falante, válvula solenóide e relé. Os equipamentos armazenadores de energia devem ser certificados para fazer parte de um sistema intrinsecamente seguro ou ter os parâmetros de entidade dentro dos limites permitidos (tensão, corrente, capacitância e indutância).

Grupos de gases

Dependendo de sua mínima energia de ignição, as substâncias inflamáveis são divididas em grupos I, IIA, IIB e IIC. A subdivisão é idêntica aquelas de acordo com a capacidade de extinção da ignição que é também decisiva para o tipo de proteção à prova de chama. No caso de equipamentos elétricos intrinsecamente seguros, os gases e vapores são subdivididos em base da relação de sua respectiva corrente de ignição mínima (MIC) para a corrente de ignição mínima do metano em laboratório.

Subdivisão	**Relação da MIC**
A	Maior que 0,8
B	Entre 0,8 e 0,45
C	Menor que 0,45

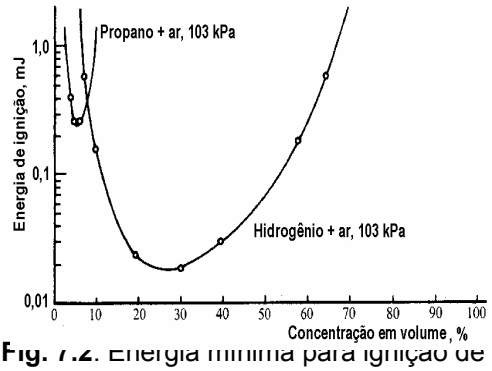


Fig. 7.2. Energia mínima para ignição de misturas de gases inflamáveis e explosivos (NFPA).

Além da limitação da energia que entra no sistema, deve-se preocupar também com o limite da energia armazenada pela fiação do sistema ou por outros equipamentos. Os componentes elétricos que armazenam energia são os capacitores e os indutores. Por isso, os circuitos elétricos localizados na área perigosa devem possuir os valores de indutância e capacitância, reais e parasitas, limitados. Também para a determinação desses valores críticos de capacitância e indutância existem curvas experimentais levantadas de testes de laboratório e de aplicações. Assim, a partir da tensão máxima usado no sistema determina-se a máxima capacitância permissível. Analogamente, a partir da máxima corrente fornecida ao sistema, determina-se a máxima indutância permissível.

4. Enfoques da SI

Há basicamente dois enfoques distintos aplicados ao conceito de segurança intrínseca:

1. conceito de sistema
2. conceito de entidade.

4.1. Conceito de Sistema

O conceito de sistema foi o primeiro aplicado à segurança intrínseca. A segurança intrínseca se aplica a sistemas completos e não a componentes isolados.

Um sistema de segurança intrínseca possui quatro tipos de componentes:

1. componentes na área perigosa,
2. barreira de energia
3. fiação na área perigosa
4. equipamentos associados na área segura

Neste conceito os componentes da área perigosa, chamados de equipamentos intrinsecamente seguros, devem ter uma certificação de determinado laboratório. A barreira de segurança intrínseca deve ter certificação do mesmo laboratório. A fiação precisa atender os requisitos da norma coerente de certificação, quanto aos parâmetros de capacitância e indutância. Os equipamentos da área segura associados, exceto a barreira, não necessitam de aprovação de segurança intrínseca, porém, a norma limitava o valor máximo de tensão de alimentação, típica de 250 V.

Este enfoque da segurança intrínseca é pouco flexível e prático. É possível se usar instrumentos de fabricantes diferentes, porém, todos os instrumentos da malha precisam ser aprovados pelo mesmo laboratório certificador. Periodicamente, o laboratório deve publicar listas com a combinação cruzada de todos os equipamentos aprovados e possíveis de ser combinados de modo seguro.

4.2. Conceito de Entidade

No inicio dos anos 80 foi consensualmente aceito o conceito de entidade ou de parâmetros da entidade, introduzido justamente para eliminar o problema e a complexidade da combinação de diferentes equipamentos em uma mesma malha ou sistema intrinsecamente seguro. O conceito de entidade permite a interligação de equipamentos sem a necessidade da aprovação individual deles e sem a verificação desta combinação.

O critério para a interligação de diferentes equipamentos é que a tensão e a corrente que o equipamento intrinsecamente seguro pode receber e permanecer intrinsecamente seguro, devem ser iguais ou maiores que a tensão e a corrente que podem ser liberadas pelos equipamentos associados (geralmente a barreira de energia), considerando as falhas e os fatores aplicáveis. Em adição, as máximas capacitância e indutância não protegidas dos equipamentos intrinsecamente seguros, incluindo a fiação de interligação, devem ser iguais ou menores que a capacitância e a indutância que podem ser ligadas com segurança aos equipamentos associados (geralmente a barreira de energia). Se estes critérios são satisfeitos, então a combinação pode ser ligada.

O conceito se baseia na indutância e capacitância totais da malha, incluindo as dos instrumentos e da fiação correspondente. Quando os componentes são claramente simples (termopar, chave, RTD, LED), as únicas capacitância e indutância a considerar são as da fiação. Para os equipamentos não simples (transmissores, células de carga,

transdutores) devem ser consideradas as capacitâncias e indutâncias da fiação e dos equipamentos.

A barreira de energia, colocada na interface área perigosa - área segura, é o equipamento associado da área segura onde estão marcados os parâmetros máximos e mínimos que podem ser ligados, do lado seguro e da área de risco.

Tipicamente, na barreira de energia devem estar determinados os seguintes parâmetros:

1. Uo - tensão máxima de saída,
2. Io - corrente máxima fornecida na saída,
3. Co - capacitância máxima permitida para ser ligada no circuito de saída,
4. Lo - indutância máxima permitida para ser ligada no circuito de saída,
5. Vm - máxima tensão que pode ser aplicada na entrada,
6. Po - potência máxima fornecida na saída,

A saída da barreira significa área perigosa e a entrada, área segura.

No instrumento a ser usado na área perigosa devem ser conhecidos os seguintes parâmetros:

1. Ui - tensão máxima de entrada,
2. Io - corrente máxima permitida,
3. Ci - capacitância equivalente
4. Li - indutância equivalente
5. Pi - potência máxima aplicável

Para que o sistema seja seguro, deve-se ter:

1. Uo < Ui
2. Io < Ii
3. Po < Pi
4. Co > Ci + Cc
5. Lo > Li + Lc

onde

Cc e Lc são a capacitância e indutância parasitas dos cabos de ligação entre o instrumento da área perigosa e a barreira.

Tab. 6.1. Parâmetros Típicos de uma Barreira MTL

Parâmetro	**Valor**
Uo	28,12 V
Io	93 mA
Co	0,12 μF
Lo	4,0 mH
Vm	250 V RMS

4.3. Sistema de segurança intrinseca

Os equipamentos de segurança intrínseca não possuem componentes especiais, mas utilizam componentes comuns e disponíveis comercialmente, com algumas características criticas comprovadas em testes individuais e especiais.

Há normas de construção e desde que elas sejam seguidas, admite-se que não haverá falhas. Com a advertência de que não devam ser tomadas como resumo ou sumário das normas existentes, eis os principais cuidados tomados com os componentes críticos, também chamados *infalíveis*:

1. o arranjo mecânico e a disposição física dos componentes devem evitar a chance de haver curto circuitos, mau contato e montagem errada.
2. os componentes de montagem devem resistir aos efeitos previsíveis e normais de vibração e choque mecânico.
3. as tomadas e os receptáculos, bem como os cartões tipo *plug in* não podem ser intercambiáveis, ou então, deve haver uma marcação simples e visível que diminua a probabilidade de troca.
4. as distâncias dos terminais, tanto no ar (*clearance*) como no circuito impresso (*creepage*), devem obedecer as normas, tendo valores mínimos que dependem principalmente do valor da tensão aplicada.

Os componentes *infalíveis* são aqueles cujas falhas reconhecidamente afetariam a segurança do sistema e por isso tem construção especial para garantir seu funcionamento sem falha. A garantia de sua pequeníssima probabilidade de falha é obtida através da construção e de testes individuais ou através apenas dos testes. É fundamental, também, que a pouco provável falha do equipamento *infalível* nunca leve o sistema para situação de perigo. Os mais comuns e usados componentes *infalíveis* são:

1. os transformadores especiais, contendo enrolamentos independentes, com separação positiva entre os enrolamentos de potência, enrolamentos de segurança intrínseca e enrolamento normais. Deve-se garantir que nunca o primário entre em contato com os enrolamentos secundários.
2. os resistores limitadores de corrente, que devem ser de filme metálico ou de uma única camada de fio enrolado. Sua resistência nunca deve cair de 10% do valor nominal e eles devem suportar

até 1,5 vezes a tensão de falha e quando falhar, nunca deve ficar em curto circuito mas em circuito aberto. Por redundância, eles são usados em serie.

3. os capacitores de bloqueio, devem suportar, em teste, a tensão de falha mais 1000 V RMS. Nunca podem ser eletrolíticos e são geralmente usados em serie.
4. os diodos zener, sempre usados em dois ou três e em paralelo.
5. os fusíveis, que devem abrir dez vezes mais rápido que o diodo zener. Para se obter isso geralmente se usa o circuito eletrônico com efeito alavanca (*crow bar*). Geralmente são usados dois fusíveis em serie, com valores levemente diferentes para garantir que eles sejam provenientes de lotes diferentes e para diminuir a probabilidade de haver falhas de fabricação ou de armazenamento.
6. as barreiras de energia, chamadas também de barreira *Redding* ou barreira zener. Normalmente são circuitos passivos, contendo resistores, diodos zener (mínimo de dois) e fusíveis (opcionais). É comum serem encapsuladas, para se evitar a troca não autorizada de componentes críticos à segurança.
7. as unidades de interface, fontes de alimentação, instrumentos auto contidos, que fazem a mesma função da barreira de diodos Zener, mas que possuem componentes ativos e oferecem segurança através da isolação galvânica.

5. Barreira Zener de Energia

5.1. Conceito

Atualmente, o enfoque mais econômico e usado para realizar o conceito de segurança intrínseca é através da barreira de energia. A barreira de energia é um dispositivo elétrico, geralmente com componentes passivos, constituído de resistores (limitadores de corrente), diodos Zener (limitadores de tensão) e opcionalmente fusíveis (cortadores de corrente), usado na interface das áreas perigosas e seguras.

A função da barreira de energia é a de limitar a energia elétrica entregue à área perigosa pela área segura, através da limitação da corrente e da tensão. O diodo Zener não conduz corrente até que tensão aplicada nos seus terminais atinja um determinado valor. Neste ponto, ele conduz, divergindo o excesso de corrente para o terra, mantendo constante a tensão e assim limitando o nível de energia seguro na área perigosa. O nível de energia deve ser tão baixo de modo a não poder provocar ignição ou explosão na área perigosa, mesmo que haja falhas específicas na área perigosa ou na área segura.

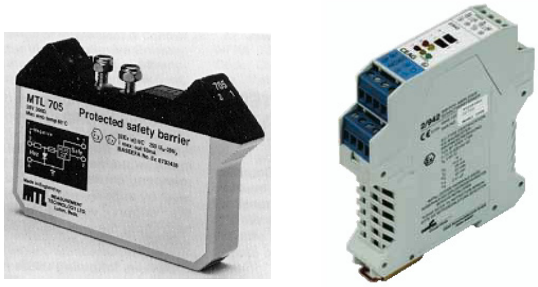


Fig. 7.10. Aparência da barreira de S.I.

Tipicamente, a tendência de aumentar a corrente é causada por problemas de curto-circuito e contato com o terra nos equipamentos da área perigosa e a tendência de aumentar a tensão é causada por aplicação de maior nível na alimentação, no lado seguro do sistema.

As considerações acerca do uso de barreira de energia são:

1. o enfoque é simples, tanto na idéia teórica como na aplicação prática
2. o sistema é flexível, pois a única exigência é a limitação de 250 V RMS do lado seguro, o que é absolutamente aceitável e normal.
3. exige-se o certificado apenas para os equipamentos armazenadores de energia ligados depois da barreira, montados na área classificada. Os equipamentos simples e não armazenadores de energia não necessitam de certificação.
4. a barreira deve ser aterrada, geralmente no único terra equipotencial da planta.

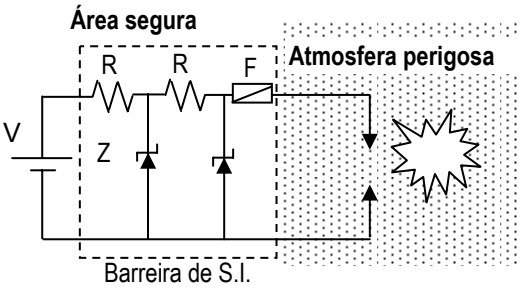


Fig. 7.11. Barreira Zener de energia

5.2. Instalação

A instalação deve estar de acordo a documentação do sistema e as recomendações dos fabricantes.

A localização das barreiras deve ser permanentemente marcada para mostrar o tipo correto da barreira de substituição para esta posição.

Normalmente a barreira é colocada na área segura, o mais próximo possível do limite da área perigosa. Essa colocação na área segura permite que a classe da barreira seja de uso geral e a proximidade do campo tem as seguintes vantagens:

1. a simplificação do projeto da barreira e do sistema completo
2. a facilidade para montagem e inspeção posterior do sistema

Opcionalmente a barreira de energia pode ser colocada na área perigosa. Porém, nessa montagem, como na sua entrada o nível de energia pode ser perigoso, a classificação da barreira deve ser compatível com o perigo da área; ela deve ser à prova de explosão ou pressurizada com gás inerte. A barreira de energia fornece a segurança intrínseca ao sistema, porém, ela não é intrinsecamente segura e deve ter proteção compatível com a classificação do local.

Em sistema modular é possível que a barreira seja também modular e seja distribuída por vários componentes. Nessa configuração a barreira de energia não é explicita, nem é constituída por um único equipamento. Os circuitos de limitação de energia estão distribuídos por outros circuitos elétricos. Isto acontece, por exemplo, na linha modular SPEC-200® (® Foxboro), onde a barreira de segurança intrínseca está contida nos módulos de entrada e de saída (resistores) e no módulo de distribuição de potência (diodos zener, circuito alavanca com SCR e (fusíveis).

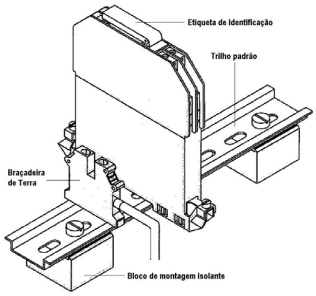


Fig. 7.12. Várias barreiras de S.I. em um armário

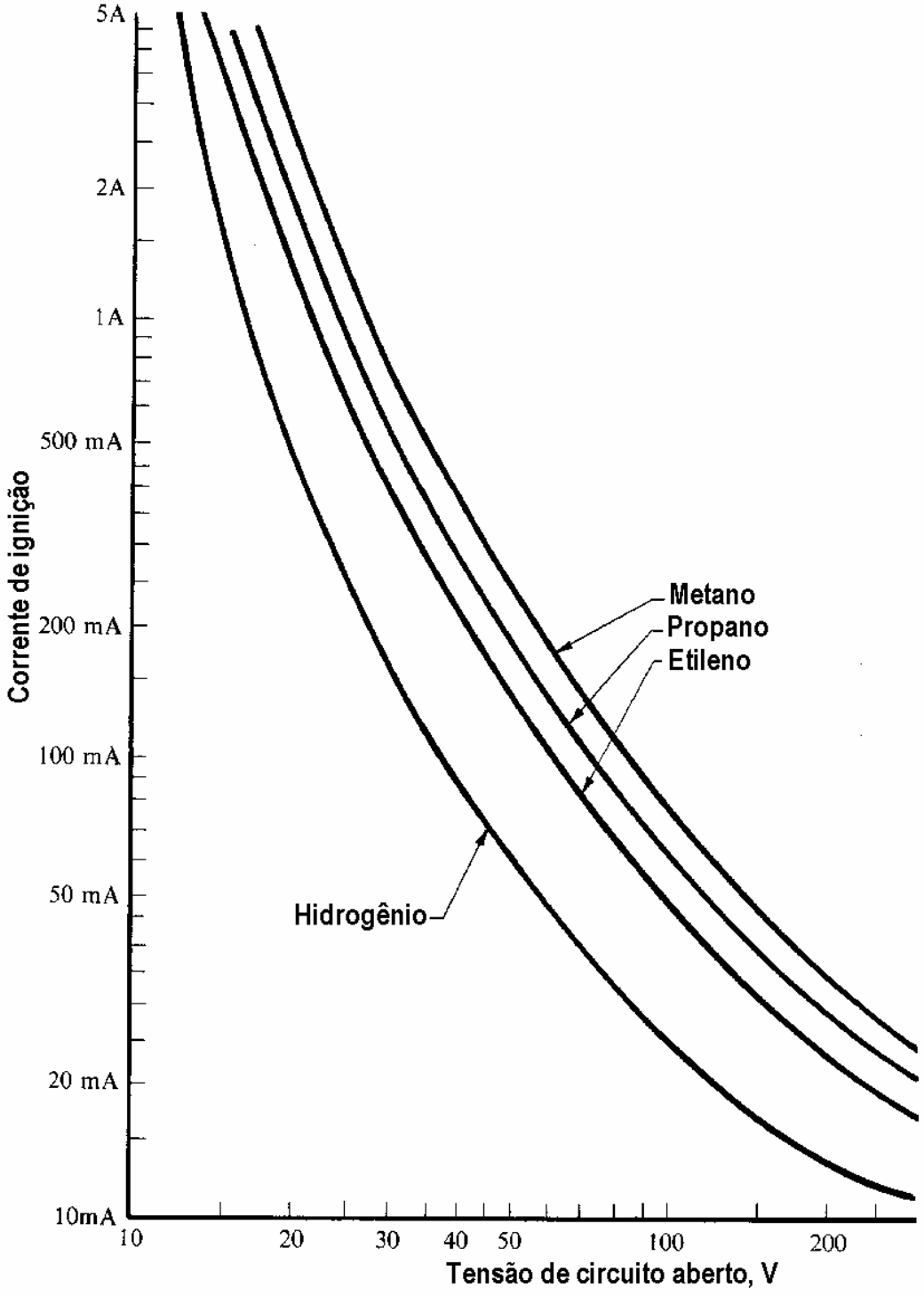


Fig. 7.3. Características de ignição, equipamento padrão IEC, circuitos resistivos

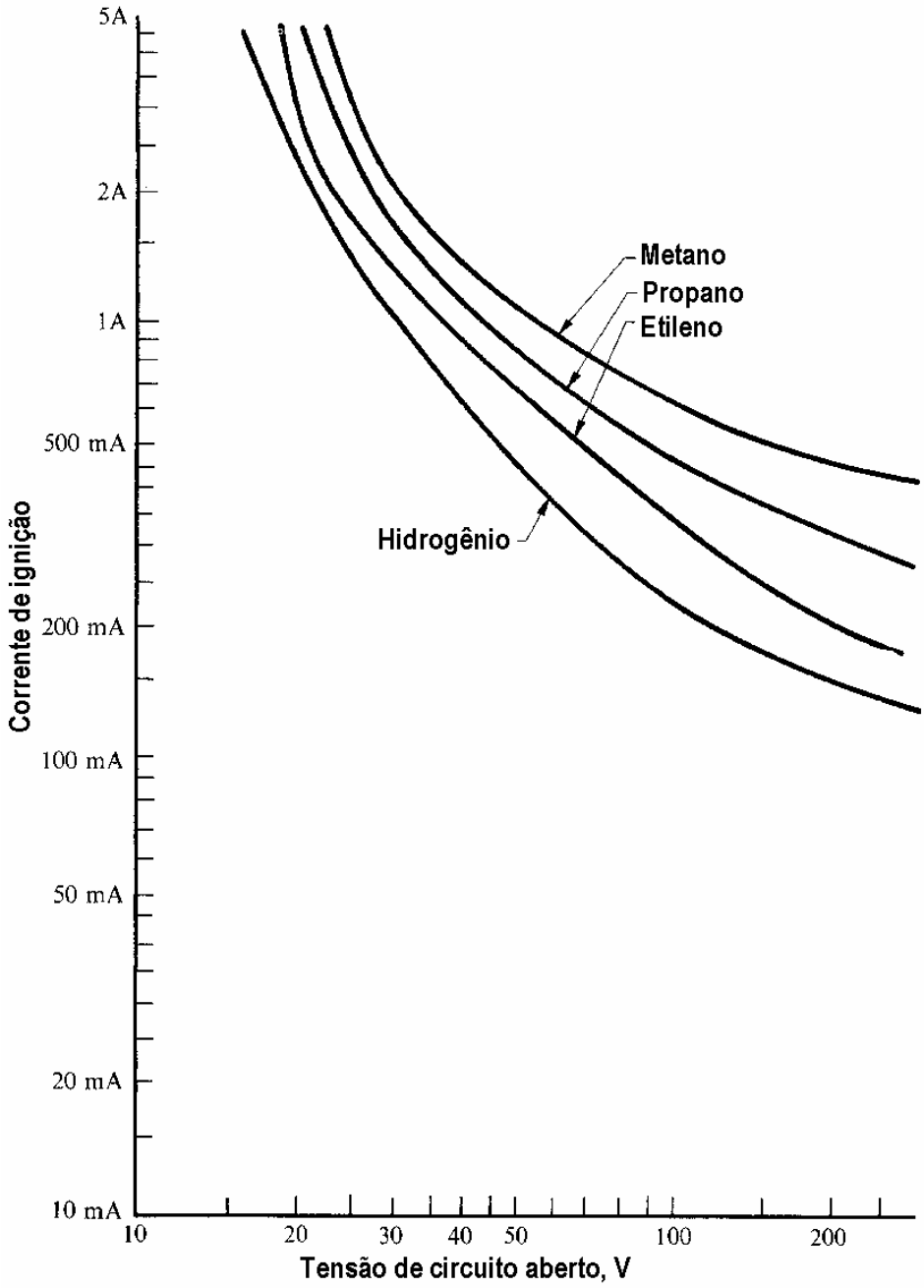


Fig. 7.4. Características de ignição, equipamento de teste IEC com disco de estanho, circuitos resistivos

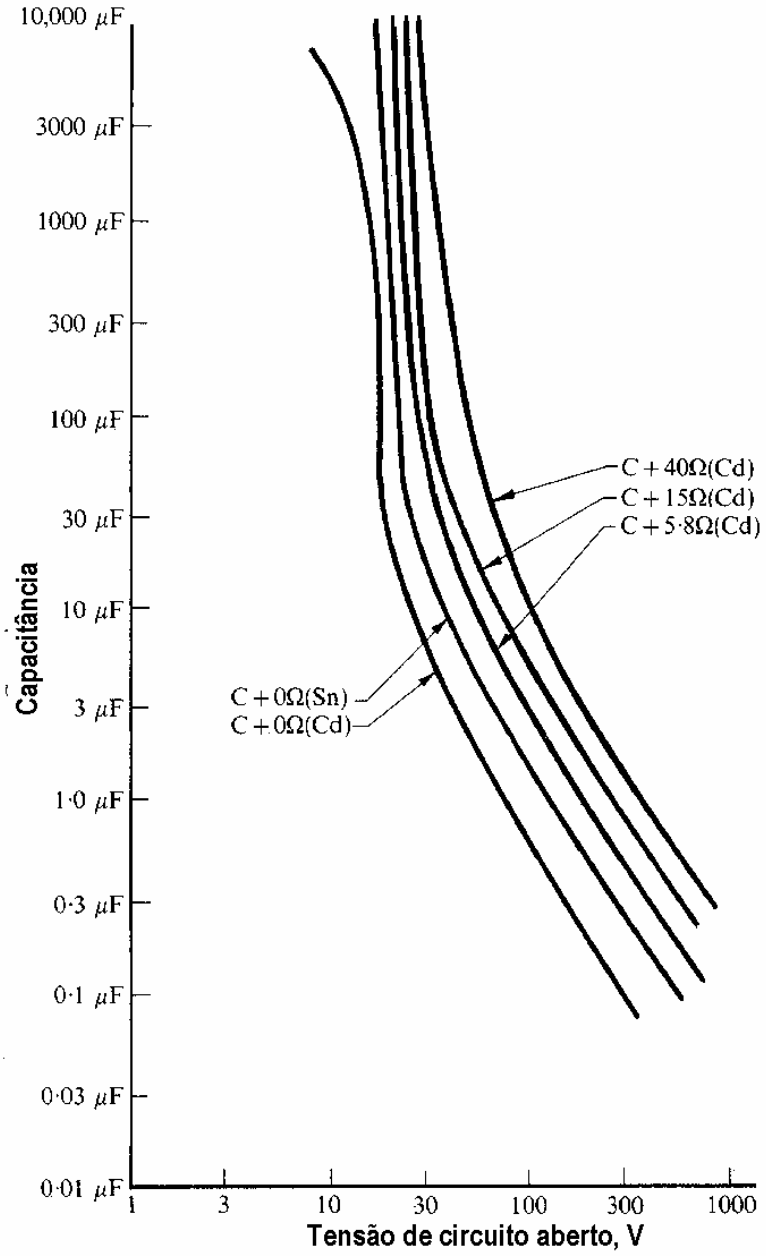


Fig. 7.5. Características de ignição, equipamento de teste IEC com disco de cádmio e estanho, circuitos capacitivos, 8,3% de metano com ar

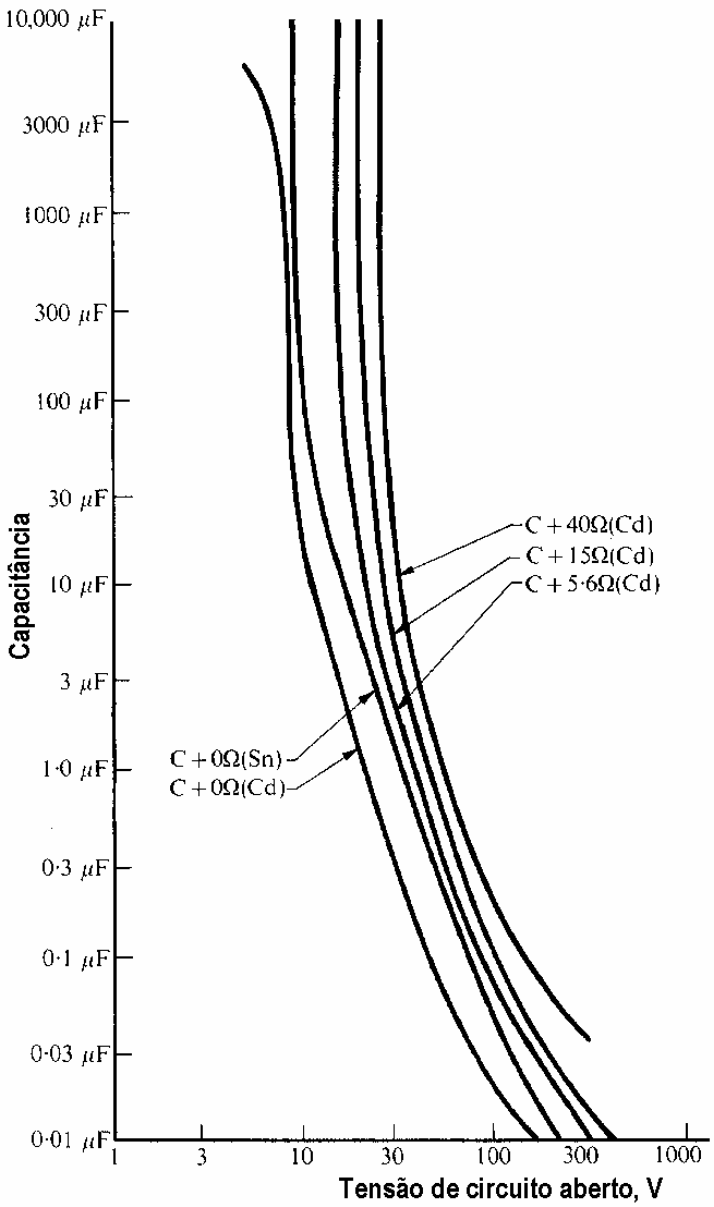


Fig. 7.6. Características de ignição, equipamento de teste IEC com disco de cádmio e estanho, circuitos capacitivos, 22% de hidrogênio com ar

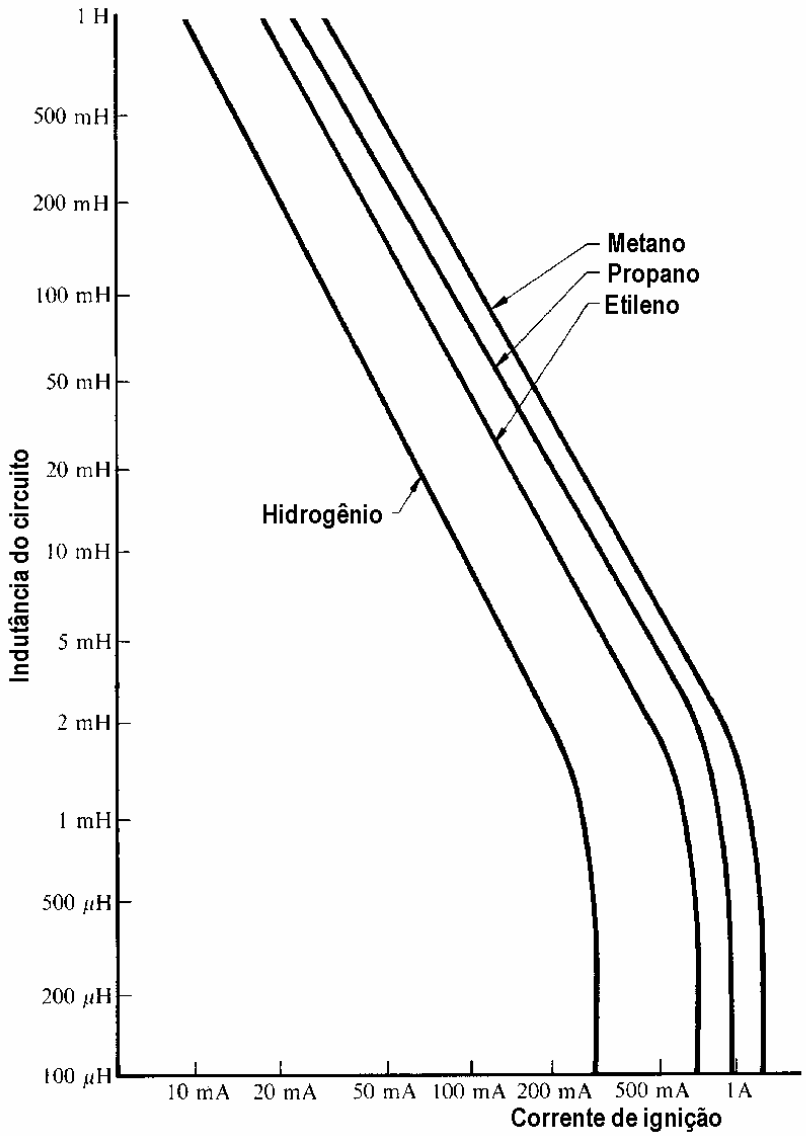


Fig. 7.7. Características de ignição, equipamento padrão IEC , circuitos indutivos de 24 V

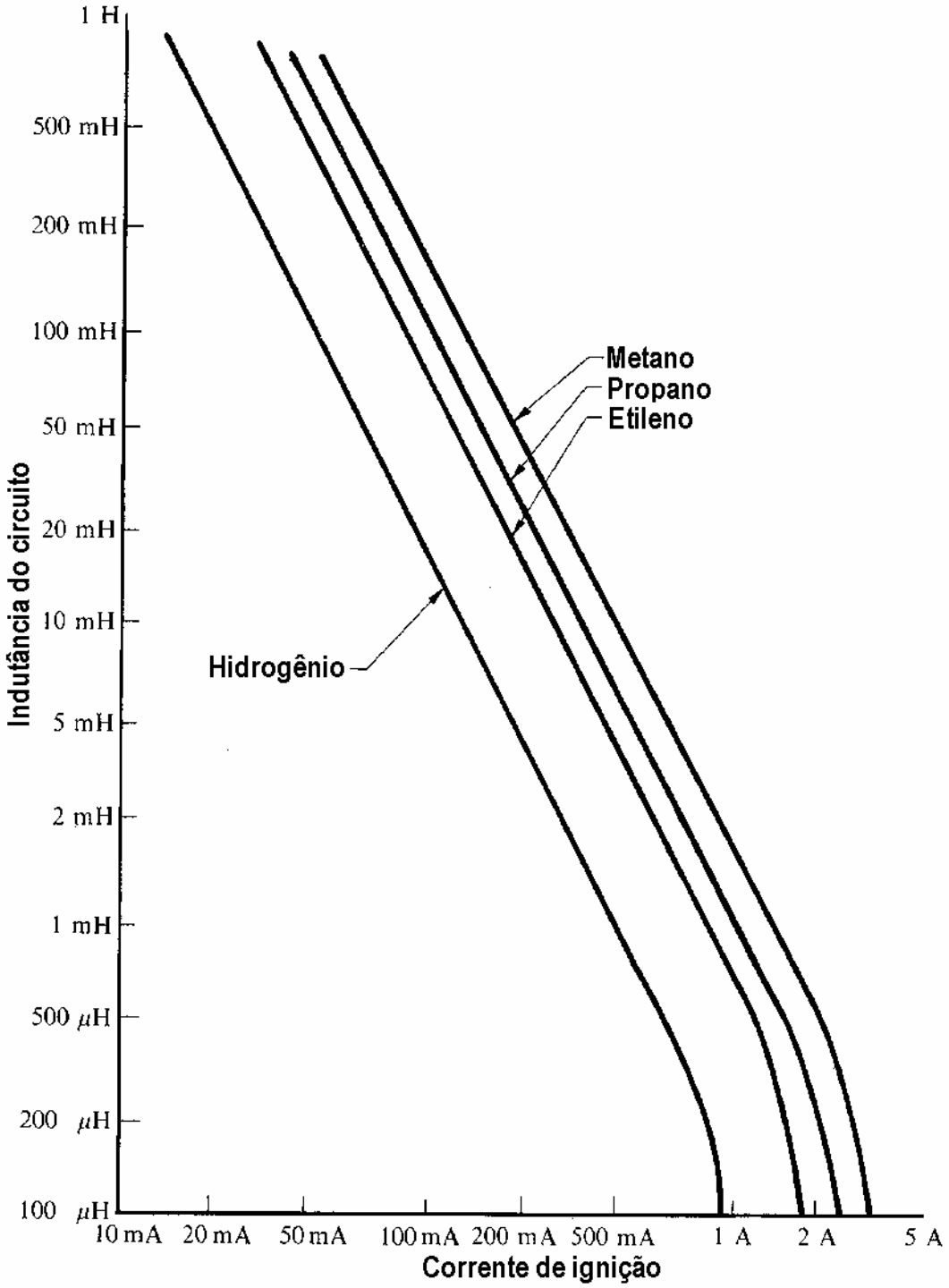


Fig. 7.8. Características de ignição, equipamento IEC com disco de estanho, circuitos indutivos de 24 V

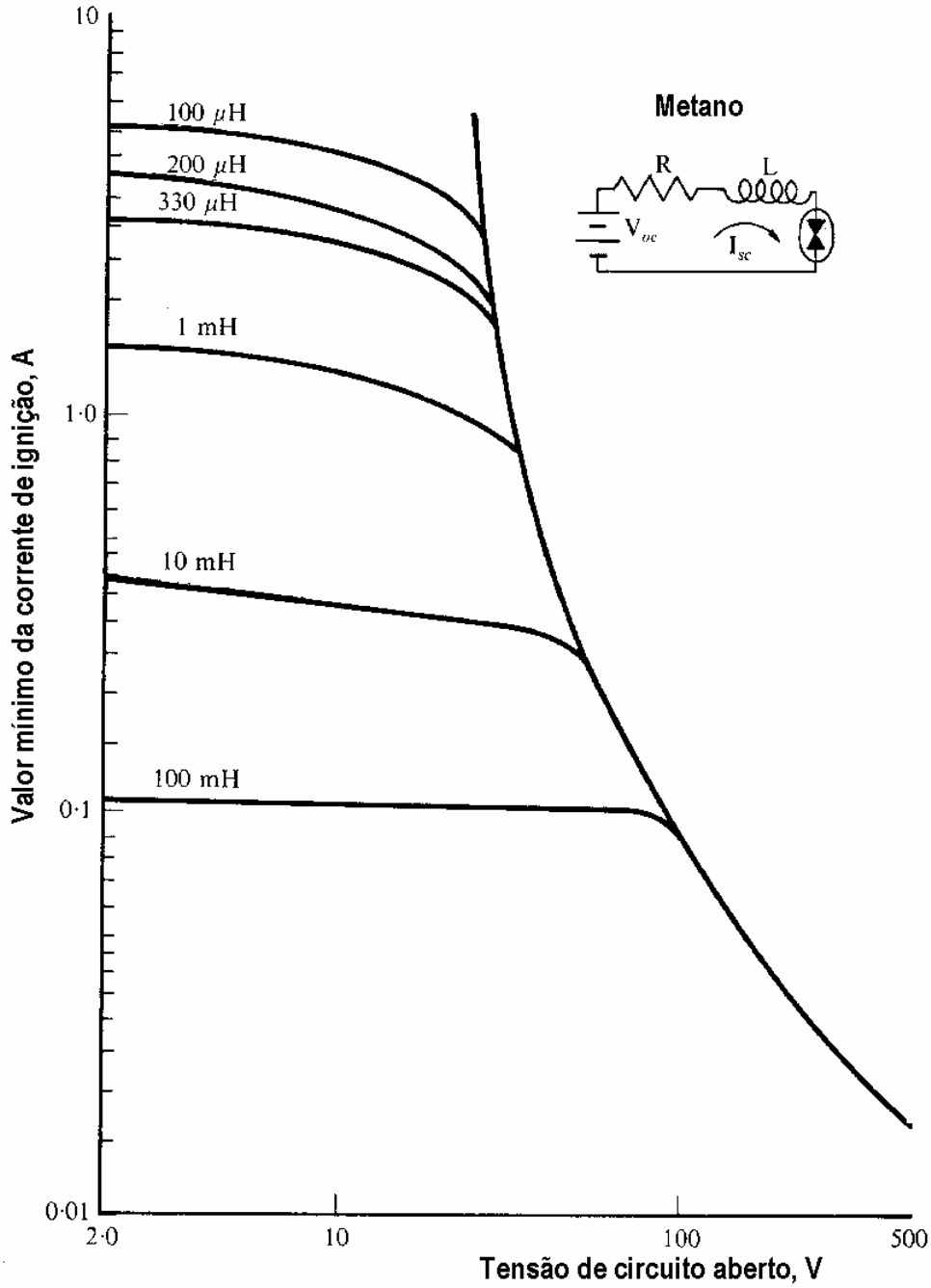


Fig. 7.9. Relações entre corrente de ignição mínima e tensão de circuito aberto – equipamento padrão IEC, para mistura de metano.

5.3. Descrição

Os parâmetros característicos de uma barreira de energia são os seguintes: a polaridade, a resistência terminal a terminal, tensão de trabalho, tensão máxima e fusível.

As barreiras podem ser polarizadas + ou - ou não polarizadas (ca). As barreiras polarizadas aceitam ou fornecem tensões da área segura com polaridade definida. As barreiras não polarizadas são usadas com tensões alternadas.

A resistência entre os terminais de entrada e saída da barreira inclui os resistores e o fusível. Quando são usados diodos e transistores, deve-se somar a queda de tensão quando os transistores estão conduzindo. O valor desta resistência terminal a terminal é tomado a 20 ^{O}C.

A tensão de trabalho é a maior tensão em regime que pode ser aplicada entre o terminal do lado da área segura de um canal da barreira básica e o terra, a 20 ^{O}C e obedecendo a polaridade correta, com o terminal do lado da área perigosa em aberto, com a corrente de vazamento especificada.

A máxima tensão é a maior tensão em regime que pode ser aplicada continuamente entre o terminal do lado da área segura de qualquer canal da barreira e o terra, a 20 ^{O}C, sem queimar o fusível. Para as barreiras básicas, é especificado com o terminal do lado da área perigosa em aberto. Se há corrente de vazamento na área perigosa, a tensão máxima desta barreira é reduzida.

A especificação do fusível é a maior corrente que pode circular continuamente (1.000 horas a 35 ^{O}C), através do fusível. A corrente especificada pode ser excedida em 60%, por períodos curtos (1.000 segundos).

5.4. Especificação

Os fabricantes de barreira devem definir claramente as especificações gerais da barreira, fornecendo os limites de temperatura e umidade ambientes, para a operação contínua (tipicamente -20 a + 60 ^{O}C) e armazenagem (-40 a +80 ^{O}C), corrente de vazamento, terminações, código de cores, montagem e aterramento.

5.5. Escolha

A seleção da barreira de segurança intrínseca adequada deve considerar dois aspectos: o funcional e o de segurança.

A barreira deve ser escolhida considerando primeiro sua necessidade operacional, garantindo-se que ela não provoca distúrbio na malha de instrumentação, principalmente o seu aterramento. São parâmetros importantes: a tensão de entrada, a resistência entre entrada-saída, energia a ser transmitida, efeito das correntes de vazamento através dos diodos Zener.

A barreira deve ser selecionada de modo que suas características não afetem a segurança exigida pelas normas concernentes. Sob este aspecto, devem ser considerados os seguintes parâmetros: polaridade, interligação de varias barreiras, tensões e correntes.

Tab. 6.2. Tipos e aplicações de barreiras SI

Equipamento IS	Aplicação (%)
Chaveamento	32,0
mecânico	(85%)
Proximidade	(15%)
Transmissor 2 fios	22,0
Termopar e RTD	13,0
Célula de carga	8,5
Válvulas solenóide	4,5
Potenciômetros	2,5
LEDs	2,0
Transdutor I/P	2,0
Outros equipamentos	13,5
Total	**100,0**

Há situações onde é simples e direta a escolha da barreira aplicável; em outras situações mais complexas deve-se:

1. estabelecer área, gás/equipamento e classe de temperatura necessários.
2. verificar se os parâmetros reais da segurança são conhecidos.
3. calcular a tensão equivalente de circuito aberto, corrente de curto circuito e a impedância da fonte de todas as combinações possíveis.
4. plotar os resultados contra as curvas de ignição para determinar o mais baixo grupo de gás e classificação de temperatura para o sistema.
5. ler a capacitância (com a máxima tensão) e a indutância (com a máxima corrente) das curvas para determinar o cabo permitido.
6. calcular o parâmetro L/R para cada combinação, tomando-se quatro vezes a corrente dividida pela impedância equivalente da fonte.
7. trabalhar com uma margem aceitável de segurança, considerando-se as flutuações da alimentação e a resistência do cabo.

5.6. Tipos de barreiras

Na instrumentação para a medição e controle de processo, os instrumentos e os elementos mais comumente usados são o transmissor eletrônico, o transdutor I/P, a solenóide, a chave, o circuito detector com ponte de Wheatstone, o termopar, a resistência detectora de temperatura e a célula de carga. Como resultado, foram desenvolvidas comercialmente barreiras padrão para cada um destes equipamentos, tornando mais simples, econômico e fácil a escolha da barreira mais apropriada.

O conceito de barreira "chave" simplifica o processo complexo da seleção da barreira para a maioria das aplicações. As sete barreiras básicas, que atendem à maioria absoluta das aplicações (90%) e são aplicadas com os seguintes equipamentos:

1. Detector de Temperatura a Resistência, dois canais de baixa resistência.
2. Termopar e sensor de corrente alternada, sinal flutuante.
3. Controlador com um lado da saída aterrado, fornece 28 V.
4. Controlador com saída flutuante, dois canais de 28 V.
5. Transmissor de 2-fios, fornece 13 a 15 V para o transmissor e 5 V para a carga.
6. Chaves, falha segura com falhas de terra.
7. Solenóides, alarmes, LEDs, falha segura com potência suficiente.

As outras barreiras, geralmente aplicáveis em situações específicas, estão associadas a transmissores inteligentes, multiplexadores e *displays*.

As vezes, por questão de segurança e de funcionalidade, são necessárias interligações de varias barreiras para um único dispositivo na área perigosa. É um exemplo típico, a aplicação de barreiras com as células de carga. É possível também a combinação de barreiras com unidades de interface.

5.8. Testes

A remoção e o teste não são recomendados em uma base regular.

A resistência terminal a terminal é o teste mais simples, quando se verifica a integridade do fusível.

Os diodos são de muito alta qualidade e foram individual e completamente testado, de modo que é pouco provável sua falha. O teste do diodo requer o conhecimento das características do diodo e dos medidores usados no teste.

A medição da resistência através dos diodos da barreira podem localizar um diodo em curto-circuito (quando normal, os valores das resistências através do diodo são alto e muito alto, dependendo se o diodo está polarizado direta ou inversamente.

As barreiras não são reparáveis pelo fabricante.

6. Unidades de Interface

A barreira de energia com diodos Zener não é a única interface entre as áreas perigosa e segura. Há outras alternativas que substituem, são extensão ou podem ser associadas à barreira, como as fontes de alimentação intrinsecamente seguras, as unidades com isoladores ópticos, com relés e os equipamentos autocontidos. Estes dispositivos são chamados comercial e genericamente de unidades de interface ou unidades de isolação galvânica. Eles são chamados, por norma, de equipamentos associados.

As unidades de interface isolam eletricamente os circuitos da área segura e os da área perigosa entre si, da fonte de alimentação e do terra, podendo ainda amplificar os sinais e prover saída de relé. Elas não requerem a alta integridade do sistema de terra.

Embora a barreira zener seja a solução mais simples e econômica de segurança intrínseca há as seguintes limitações:

1. a barreira simplesmente transmite o sinal de medição ou controle sem fazer nenhum processamento sobre ele,
2. a barreira requer ligação de alta integridade para o terra para drenar as correntes de falha e
3. a barreira introduz restrições ao resto do circuito por causa de sua tarefa de compatibilizar os circuitos da área segura, da área perigoso e do terra.
4. a barreira possui fusível encapsulado por razões de segurança e a unidade toda é perdida quando ele se queima.
5. a barreira é sempre aterrada. Se o equipamento do campo também é aterrado, pode haver problemas de precisão e de segurança quando os terras do campo e da barreira não são equipotenciais.

Uma unidade de interface de isolação substitui a barreira zener e possui as seguintes vantagens adicionais, também a um custo adicional:

1. contem seus próprios relés, amplificadores e condicionadores de sinal.

2. contem seus próprios circuitos de regulagem de tensão da fonte de alimentação,
3. possuem fusíveis substituíveis,
4. possuem circuitos de entrada e saída independentemente flutuantes, permitindo o aterramento dos equipamentos do campo e da sala de controle e eliminando a exigência de terra de alta integridade na interface.
5. simplificam o projeto e trajetória dos cabos por causa da isolação entrada-saída.

Todas as vantagens listadas se referem apenas à operação. Não há diferenças relacionadas com a segurança entre uma barreira zener e uma unidade de isolação.

As principais funções incorporadas às unidades de isolação são:

1. relés para transferir o status da chave em ambos os sentidos,
2. relés para operar de detectores de proximidade,
3. acionadores liga-desliga para válvulas solenóides ou alarmes,
4. fontes de alimentação ou repetidores de alimentação para transmissores a dois fios,
5. isoladores cc para transdutores I/P,
6. isoladores cc para sistemas de detecção de fogo,
7. amplificadores de trip para uso com termopares e RTDs,
8. detectores de vazamento de terra para sistemas flutuantes de monitoração.

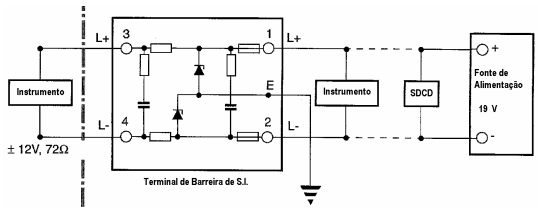


Fig.7.13 Aplicação de barreira Zener

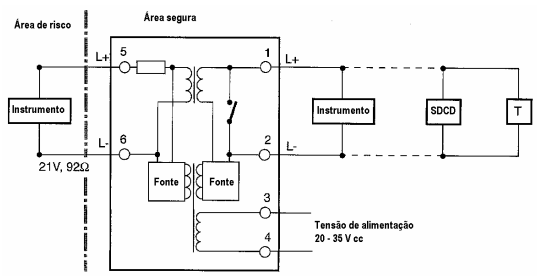


Fig. 7.14. Aplicação de unidade de isolação SI

6.1. Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação intrinsecamente segura é geralmente usada quando as exigências de alimentação são muito elevadas e não podem ser cumpridas pelos circuitos da barreira, principalmente para locais com gases dos grupos IIA ou IIB, onde é permitida uma energia mais elevada.

A fonte pode incorporar no mesmo invólucro, por questão de funcionalidade, outros circuitos como sensor remoto de tensão, sinal de retorno e barreira de chave.

A base da fonte intrinsecamente segura é um transformador protetor, que permite a saída para a área perigosa ser controlada com circuitos limitadores de corrente, em vez do simples resistor limitador de corrente da barreira. Ela tem a vantagem de uma regulação muito melhor e fornece mais potência útil à área perigosa.

6.2. Isolador Óptico

O isolador óptico é um meio ideal de interfacear alguns tipos de circuitos intrinsecamente seguros, separando fisicamente a fonte de luz e o receptor e fornecendo a segurança necessária. Analogamente à fonte de alimentação intrinsecamente, os refinamentos e opções podem incorporar outros circuitos básicos à isolação óptica.

6.3. Relé Isolador

Um relé pode ser usado para interfacear contatos colocados na área perigosa com a alimentação da área segura, usando sua capacidade de segregação e isolação. Por questão de operação, como uma falha causando um aumento de temperatura poderia destruir a segregação da segurança, este dispositivo incorpora alguma forma de trip termal.

Normalmente a bobina fica no lado da área segura. Quando a bobina também fica na área perigosa e como ela é um elemento armazenador de energia, ela deverá ser certificada e usa-se outra bobina interfaceando a área perigosa, mas colocada na área segura.

6.4. Equipamento Autocontido

É possível ter um sistema inteiro localizado dentro da área perigosa, com certificação de segurança intrínseca, como um sistema portátil de medição, rádio *walkie-talkie*, lanterna de iluminação. Estes equipamentos são chamados autocontidos e não requerem uma interface

entre as áreas segura e perigosa, pois ele não possui nenhuma ligação com a área segura. O equipamento autocontido possui uma bateria de alimentação incorporada ao invólucro, com alta impedância interna, que fornece a segurança em caso de falha interna.

6.5. Válvula Solenóide

Atualmente, são disponíveis válvulas solenóides para uso em sistemas intrinsecamente seguros com aprovação de entidade, podendo ser usadas com quaisquer barreiras que também tenham aprovação de entidade. Os valores máximos e uma válvula solenóide (ASCO) são: 34 V cc e 125 mA cc.

A válvulas solenóide com aprovação de segurança intrínseca é identificada pelo invólucro azul e com a correspondente etiqueta que determina o local especificado onde ela pode ser usada.

O fabricante fornece a expressão matemática para calcular a tensão mínima necessária para operar a válvula solenóide, a 15 ^{O}C. Esta tensão é diretamente proporcional a:

1. resistência entre terminais entrada-saída da barreira,
2. resistência da bobina, que depende da temperatura ambiente,
3. resistência da fiação,
4. corrente mínima necessária para operar a solenóide, típica de 25 mA

A válvula solenóide com aprovação de segurança intrínseca possui bobina especial. A substituição de componentes pode afetar a segurança da válvula. Quando se usa o kit de reconstrução da válvula, não se deve misturar peças do kit com peças antigas. Deve-se instalar todas as peças do kit. A base da solenóide e o carretel são peças casadas. O número e o tamanho dos espaçadores da base são críticos e importantes para a operação e a segurança da válvula solenóide. Não se deve acrescentar ou tirar qualquer espaçador ou misturar peças entre os subconjuntos.

6.6. Aplicações

As aplicações mais apropriadas de unidades de interface em lugar das barreiras zener incluem: chaves, detectores de proximidade, transmissores, detectores de fogo, solenóides, alarmes e transdutores I/P.

Chave

Chave é um dispositivo elétrico que altera seus contatos de saída quando acionada, manual ou automaticamente. As chaves manuais podem ter contatos retentivos (liga-desliga) ou não retentivos (botoeira). Chaves automáticas são pressostato, termostato, de nível, vazão e chave limite.

A chave limite ou chave fim de curso é usada largamente para mostrar se portas estão abertas ou fechadas, se variáveis de processo atingiram algum limite predeterminado ou para atuar equipamento que tenham atingido determinada posição. O status de uma chave pode ser levado diretamente para uma barreira comum de dois canais, de modo que o relé associado desenergiza se houver falha de terra ou algum problema na linha de alimentação.

Porém, a montagem de relés separados é inconveniente. O desejável é usar uma unidade de interface que combine todas as funções necessárias em uma única caixa.

Detector de proximidade

O detector de proximidade é basicamente um pequeno oscilador controlado por uma peça metálica separada, agindo como chave. Ele substitui a chave por vários bons motivos:

1. é mais confiável, pois não possui peças moveis e não se baseia na manutenção de superfícies limpas de contato,
2. é robusto e resistente a choque mecânico,
3. suas resistências nos status ligado e desligado são finitas e podem ser diferenciadas dos circuitos abertos ou em curto. (Para uma chave, uma linha em curto circuito parece como um fechamento e implica que a placa está segura, mesmo quando não esteja). Esta característica útil permite que o status do detector seja transmitido com grande confiabilidade e discriminação contra falhas de linha.

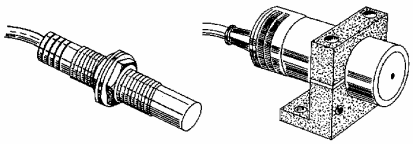


Fig. 7.15. Sensores de proximidade

Seria difícil interpretar e agir sobre todas estas informações usando barreira zener. A unidade de interface para detector de proximidade faz melhor uso das informações. Em operação normal, ignorando falhas, a unidade pode estar em fase de modo que o relé desenergiza para dar um alarme em qualquer estado do detector.

Se a linha ficar em curto ou em aberto, um detector de falha de linha na unidade abre o relé de modo que a unidade falha segura. Um projeto mais complexo com um segundo relé poderia avisar a falha sem acionar um alarme. Igualmente, falhas de terra podem ser detectadas independentemente.

Transmissor

Milhares de transmissores eletrônicos de 2-fios com saída de 4 a 20 mA cc funcionam satisfatoriamente com barreira zener, mostrando que ela é uma boa solução. A barreira introduz um erro desprezível. A barreira entrega 1-5 V para o controlador e alimenta o transmissor e sua linha com 16 V cc, desde que tenha uma tensão mínima de alimentação de 24 V cc. Uma unidade de interface teria as seguintes vantagens sobre uma barreira ou combinação de barreiras:

1. os circuitos da área perigosa podem ser aterrados em qualquer ponto ou deixado flutuante,
2. a fiação da área segura é muito mais simples,
3. não há necessidade de qualquer ligação para o terra e menos ainda, de um terra com alta integridade,
4. a tensão disponível para o transmissor e linha pode ser de até 17,5 V, independente da carga,
5. o desempenho não é afetado pelas variações de tensão da alimentação entre 20 V e 35 V.

Detector de fogo

Quando se usa uma unidade de interface com detectores de fogo, a unidade fornece uma alimentação flutuante para energizar vários detectores em paralelo. Com equipamento de monitoração adequando e um resistor no fim da linha, curtos-circuitos na linha não vão acionar um alarme falso.

Fig. 7.16. Transmissor eletrônico com classificação elétrica de segurança intrínseca

Solenóide

A principal vantagem de usar uma unidade de interface de isolação substituindo uma barreira zener com uma válvula solenóide ou com um sistema de alarme ou transdutor I/P é a imunidade para falhas de terra na área perigosa e a monitoração por um detector de vazamento de terra.

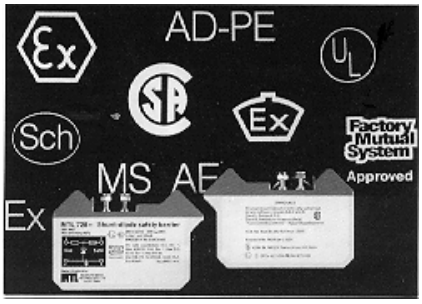


Fig. 7.17. Marcação de aprovação de segurança intrínseca

7. Instalação

7.1. Instrumentos da Área Perigosa

Com o conceito de segurança intrínseca baseado na barreira de energia, há alguns sensores e outros dispositivos simples que não necessitam do certificado de aprovação de segurança intrínseca, mesmo que estejam na área perigosa.

Uma característica necessária para prescindir da aprovação é ser puramente resistivo e não armazenador de energia elétrica. Exemplo dessa classe de componentes: resistência detectora de temperatura e a chave.

Há alguns elementos sensores ativos, que geram força eletromotriz. Desde que os níveis não ultrapassem a 1,0 V de tensão e 100 mA de corrente, também eles não requerem aprovação. É o caso de termopares, células de carga, fotocélulas e diodos emissores de luz (LED).

Embora estes dispositivos não requeiram a certificação de segurança intrínseca, os seus circuitos necessitam de barreira de energia, por causa da tensão disponível no instrumento receptor localizado na área segura.

Em qualquer situação deve se cuidar das características do instrumento receptor, mesmo colocado na área segura. Ou seja, deve-se considerar ainda a máxima tensão de alimentação, típica de 250 V RMS, a barreira de energia e o aterramento.

Os componentes não armazenadores de energia, com exclusão do contato, podem ser usados até na Zona O, local com maior probabilidade de perigo.

Os componentes armazenadores de energia são aqueles que possuem capacitância e indutância diferentes de zero. Por exemplo, um transmissor eletrônico, capacitivo ou indutivo, é um instrumento armazenador de energia. O transmissor recebe da área segura a tensão de alimentação de 24 V cc e transmite o sinal padrão de corrente de 4 a 20 mA cc, através dos mesmos dois fios, para um instrumento receptor colocado no painel da sala segura. Outro componente armazenador de energia é o transdutor I/P, que converte o sinal padrão de corrente no sinal padrão pneumático de 20 a 100 kPa (3 a 15 psig). O transmissor eletrônico e o transdutor I/P devem ser certificados e aprovados para segurança intrínseca, para uso na área perigosa específica. Devem estar ligados ou a uma barreira de energia ou a um instrumento receptor, ambos os certificados pela mesma instituição que aprovou os instrumentos de campo.

Os instrumentos certificados e aprovados devem possuir etiquetas com indicação de que são intrinsecamente seguros. A marcação de segurança intrínseca deve possuir, além dos dados normais de todo instrumento como o nome do fabricante, modelo, número de serie, dados de calibração,

1. nome da instituição certificadora e o pais,
2. a classificação da área onde o instrumento pode ser usado com segurança: classe, grupo e zona,
3. a observação relativa a segurança, como, por exemplo: deve ser ligado a instrumento receptor com mesmo certificado de aprovação,
4. a observação relativa a cuidados de substituição de peças criticas,
5. o tipo da segurança (EX "ia" ou "ib").

Equipamentos para zona 0

A norma EN 50 284 VDE 0170/171, parte 12-1: *Exigências especiais para o projeto, teste e marcação de equipamento elétrico em equipamento grupo II, categoria 1G*, mostra as exigências detalhadas para os equipamentos do grupo II, categoria 1G. Os equipamentos devem ser projetos de modo que eles garantam um alto grau de segurança em operação normal. Equipamento da categoria 1 é pretendido para uso em atmosfera potencialmente explosiva em que misturas explosivas de ar com gases, vapores ou névoas ocorram continuamente, por longos períodos ou freqüentemente. Esta norma também se aplica a equipamentos que sejam montados em barreiras entre atmosferas potencialmente explosivas diferentes. Ela também inclui exigências para equipamentos que sejam instalados fora da atmosfera potencialmente explosiva, mas que está ligado eletricamente ao equipamento categoria 1 (equipamento associado).

Ela suplementa as normas EN 50 014 e EN 50 020 a 50 028 e pretende adaptar o nível de segurança fornecido por estas normas a risos extremamente altos.

Para eliminar os perigos de ignição que podem emanar dos circuitos elétricos dos equipamentos, a medida necessária de segurança deve ser garantida, mesmo se duas falhas independentes ocorrerem aplicando uma única medida de proteção de construção ou se uma medida de proteção de construção falhar, deve ser garantido por uma segunda medida de proteção de construção independente. Medidas de proteção de construção individuais permissíveis são:

Equipamentos e circuitos de acordo com as exigências da EN 50 020, categoria –ia-

Equipamentos encapsulados de acordo com EN 50 028 suplementada pelas exigências adicionais desta norma.

Sempre que possível, as conexões para os equipamentos e partes da zona 0 devem ser localizadas fora da zona 0.

7.2. Instrumentos da Área Segura

Nem todo equipamento montado na área segura requer o certificado e a aprovação de segurança intrínseca. Alias, apenas os instrumentos que contem os componentes limitadores de energia ou explicitamente, a barreira de energia devem ser certificados.

A proteção ambiental deve ser, no mínimo, IEC IP20.

Nenhuma tensão na área segura deve exceder a especificação da tensão da interface certificada, típica de 250 V RMS. Qualquer outro instrumento que utilize tensões mais elevadas não pode ser usado, interligado com o sistema de segurança intrínseca.

As alimentações principais devem ser derivadas de um transformador com duplo enrolamento, com fusíveis convenientes.

Atualmente, com o uso intensivo e extensivo de painéis de leitura utilizando monitores com tubos de raios catódicos (TRC) foram revistas as normas e incorporados circuitos que possibilitam o uso de tais dispositivos em sistemas intrinsecamente seguros. É porém, necessário o contato com o

fornecedor dos equipamentos para assegurar a integridade da segurança intrínseca.

É interessante também o uso de osciloscópios para medição e testes dos equipamentos elétricos. Atualmente há um consenso de que tais instrumentos, que também possuem tubos com alta tensão gerada internamente, podem ser usados em testes de sistemas intrinsecamente seguros, porém, quando ligados devem estar sempre assistidos por alguém.

Na prática, o principal cuidado deve ser tomado com as barreira de energia. Por questões psicológicas de humanas, geralmente se tomam menos precauções e se opera com menor grau de cuidado e atenção com os equipamentos montados na área segura, mesmo que estejam associados a segurança intrínseca do sistema. Nunca fazer ligações, mesmo provisórias e para testes, que contornem a barreira de energia. Para evitar essas falha humana, a norma exige a marcação visual dos fios e terminais relacionados com a segurança intrínseca com a cor azul.

Barreira Zener

Normalmente, circuitos intrinsecamente seguros devem ser isolados. Eles podem ser ligados ao terra, se isto for necessário por razoes funcionais. Eles devem, porém, ser aterrados, se isto for imperativo por razoes de segurança. Aterramento é somente permitido em um ponto por conexão ao potencial equalizado que deve existir em toda área onde o circuito intrinsecamente seguro é montado.

Desde que, com barreiras de segurança, não há isolação galvânica entre o circuito intrinsecamente seguro e o circuito não intrinsecamente seguro, por questão de segurança, deve haver uma conexão perfeita com o terra.

7.3. Isolação de circuitos IS

Peças de conexão

Para evitar qualquer erro quando conectando ou ligando condutores, as peças de conexão para circuitos intrinsecamente seguros devem ser isoladas seguramente das peças de conexão de um circuito não intrinsecamente seguro. Por este motivo, os terminais da conexão do circuito intrinsecamente seguro podem, por exemplo, ser instalados a uma distância mínima de 50 mm das peças de conexão de cada circuito não intrinsecamente seguro ou eles podem ser separados por uma barreira de isolação ou uma barreira metálica aterrada. Estas barreiras devem estar até 1,5 mm da parede do invólucro ou eles devem garantir um espaçamento mínimo de 50 mm entre as peças de conexão.

Isolação de fios isolados de circuitos intrinsecamente seguros e circuitos não intrinsecamente seguros

A distância entre os condutores de fios isolados deve satisfazer as exigências especificadas. Com a exceção de vernizes e revestimentos similares, esta isolação é considerada ser uma isolação sólida. A distância é determinada pela adição da espessura do raio da isolação dos fios. As distâncias mínimas são estabelecidas na norma EN 50 020. Por exemplo:

Quando U ≤ 60 V, 3 mm

Quando U ≥ 750 V, 8 mm

A tensão U é a soma das tensões dos circuitos intrinsecamente seguros e não intrinsecamente seguros. Esta distância não é requerida:

Se os fios dos circuitos intrinsecamente seguros e não intrinsecamente seguros são fornecidos com uma tela aterrada ou

Se, com equipamentos elétricos categoria ib, a isolação dos fios da fiação intrinsecamente segura suporta uma tensão de teste alternada de 2000 V. Além disso, deve se tomar cuidado com interferências indutivas e capacitivas do circuito não intrinsecamente seguro sobre o circuito intrinsecamente seguro.

7.4. Fiação

Assume-se que todo cabo e fio de instrumentação, intrinsecamente seguro ou não, tenha sido previamente testado, quanto a isolação, continuidade, polaridade, isolação com terra.

A fiação intrinsecamente segura deve satisfazer todas as normas e recomendações relativas a fiação ordinária de controle, e.g., não misturar com a fiação de potência e com a fiação de instrumentação comum. A fiação intrinsecamente segura não precisa satisfazer nenhuma norma e recomendação relativa a segurança de prova de explosão ou purga, pois ela possui normas específicas.

As normas de segurança intrínseca não exigem, mas também não proíbem, o uso de fios blindados, cabos coaxiais ou cabos especiais.

Quando são usados cabos blindados em sistemas de segurança intrínseca, as blindagens devem ser aterradas apenas em um ponto, usualmente o mesmo ponto de aterramento da interface. No campo, as

blindagens devem ser isoladas do terra e entre si e a blindagem final também deve ser isolada.

Teoricamente, nem há exigência quanto a isolação do condutor, porém, a prática da boa engenharia requer a isolação mínima de 0,75 mm entre condutores, para assegurar a confiabilidade do sistema.

A principal exigência é que a fiação de segurança intrínseca não pode armazenar energia elétrica em níveis perigosos. Isso quer dizer: a fiação deve ter capacitância e indutância limitadas em valores predeterminados e definidos, principalmente, pela mistura gasosa inflamável do local. Por isso deve-se medir o valor da capacitância e indutância dos fios. É comum considerar os valores típicos de 180 pF/m e 0,6 mH/m, de fio de cobre AWG 14. Geralmente, a maioria das distâncias envolvidas em instrumentação não apresenta problema.

Quando a fiação possui capacitância e indutância efetivas e reais, é comum o uso de pequenos artifícios para diminuir os valores. Assim, usa-se diodo em paralelo com a bobina do relé, a fim de diminuir os efeitos da indutância do relé. É recomendável o uso de resistores em serie com capacitores, para diminuir o efeito da capacitância. A bitola do fio altera o valor de sua capacitância e indutância parasitas.

As interfaces certificadas cotam os valores máximos de capacitância e indutância permitidos, usualmente dando os parâmetros para o grupo IIC.

O valor para IIB = valor para (IIC) x 3.

O valor para IIA = valor para (IIC) x 8.

A especificação dos cabos é muito simples:

1. a isolação mínima deve ser 0.3 mm PVC ou equivalente.
2. capaz de suportar teste de isolação de 500 V.
3. deve ser compatível com as condições reais da instalação, quanto a corrosão, temperatura, vibração.

Os tamanhos mínimos do condutor são especificados.

A proteção mecânica para os cabos não é necessária para a segurança, podendo ser desejável por razões operacionais.

Os parâmetros dos cabos não podem ser excedidos; raramente eles se aproximam dos limites, exceto para aplicações em locais IIC, i.e., hidrogênio, com altas tensões (30 V) e comprimentos acima de 500 m.

Os cabos multicondutores são permitidos em sistemas intrinsecamente seguros mas podem somente conter circuitos intrinsecamente seguros.

Geralmente os cabos devem suportar um teste de 500 V RMS e adicionalmente 1.000 V entre condutor-condutor e condutor-blindagem.

Tipo A: usa blindagem com, no mínimo 60% de cobertura, não precisa considerar falhas entre os circuitos separados.

Tipo B: usa blindagem com menos de 60% de cobertura. Se o cabo é fixado em toda a sua extensão e nenhuma tensão no circuito exceda 60 V, então não precisa considerar falhas entre circuitos separados.

Tipos C e D: varias falhas simultâneas entre circuitos separados precisam ser consideradas (circuito aberto e curto-circuito).

Os cabos devem passar por locais onde é pequena a possibilidade de haver estragos mecânicos e ser fixados em toda a sua extensão.

A máxima tensão aplicada deve ser de 60 V pico.

Os circuitos da Zona 0 devem ter blindagens individuais.

A fiação de segurança intrínseca deve ser identificada. A identificação deve ser visível, discriminada e suficientemente durável, suportando as condições ambientes adversas. Universalmente se reservam as cores azul ou verde para os terminais e, as vezes, para os fios de segurança intrínseca.

As blindagens externas não necessitam obrigatoriamente ter a cor azul, reservada para os sistemas de segurança intrínseca, mas devem ter uma fácil identificação de que sejam intrinsecamente seguros.

Deve se impedir a intrusão da fiação não intrinsecamente segura no sistema intrinsecamente seguro, mesmo que seja fiação de controle, com baixo nível de energia.

Os sistemas intrinsecamente seguros diferentes devem ser separados. São considerados diferentes quando:

1. operam com diferentes níveis de tensão,
2. operam com polaridades diferentes de tensão,
3. são aprovados para locais com classificações diferentes de classe/grupo/zona,
4. possuem terras diferentes,
5. possuem certificados de aprovação de agências diferentes.

Não é mandatório o uso de conduítes ou bandejas, porém, quando utilizados, os conduítes devem ser selados na entrada da área segura, para se evitar o transporte de gases inflamáveis para a sala de controle.

O conceito de fiação e conexões internas, dentro dos armários e painéis é ainda controverso. Para alguns a fiação interna dos painéis é considerada fiação de campo, para

outros, é considerada fiação interna dos componentes. Essa duvida não é apenas acadêmica, pois da definição de fiação interna depende a interpretação de falhas específicas. Se um condutor em curto com o terminal de outra malha do mesmo sistema intrinsecamente seguro, o nível de energia não é excedido. Entretanto, se o condutor contata simultaneamente dois ou mais terminais do mesmo sistema intrinsecamente seguro, é possível que o nível de energia tenha sido excedido. Atualmente, a tendência é considerar a fiação interna dos painéis como fiação interna dos instrumentos e deve ser feita de acordo com as instruções detalhadas do fabricante.

Em principio, todas as fiações do sistema intrinsecamente seguro devem ser definitivas e permanentes, ou seja, não são permitidos soquetes e tomadas moveis.

A separação das fiações deve continuar dentro dos painéis, inclusive nas placas terminais. É aceitável a separação mínima de 50 mm entre circuitos intrinsecamente seguros e circuitos não intrinsecamente seguros, também de sinal e não de potência. Além do espaçamento adequado, deve-se cuidar da disposição relativa dos terminais, de modo a se prevenir curtos-circuitos, contatos entre fios, curto com terra. Por isso, as placas terminais para segurança intrínseca são normalmente horizontais e raramente verticais, de modo que seja mais improvável um fio solto contatar o fio vizinho.

Especificação de indutâncias e capacitâncias permissíveis para circuitos intrinsecamente seguros

Até agora os valores máximos para La e Ca de unidades de alimentação para circuitos intrinsecamente seguros foram estabelecidos por alguma autoridade de teste e certificação, de modo que o operador tinha apenas que verificar se as indutâncias e capacitâncias La e Ca (incluindo cabos e condutores) estivesse sempre menor que os valores máximos. Aqui foi assumido que as indutâncias e capacitâncias conectadas são ligadas à unidade de alimentação simultaneamente e em forma concentrada, constituindo assim uma carga crítica. Estes institutos de teste tomam esta ocorrência simultânea de La e Ca em consideração para circuitos –ia- e circuitos –ib- não lineares. Como outros institutos de teste trabalham sobre a hipótese que ou uma capacitância externa (com indutância desprezível) ou uma indutância externa (com capacitância desprezível) é conectada, eles certificam os dados que foram mais favoráveis para o fabricante. Devido à pressão do mercado, os institutos de teste que trabalhavam anteriormente na base de uma ocorrência simultânea de capacitância e indutância quando especificando os dados relacionados com segurança agora foram forçados a adotar o enfoque menos restritivo. Um exemplo teórico (utilização total da carga externa conectada), pode-se, porém provar que o fator de segurança 1,5 (de acordo com os dados antigos) pode ser reduzido a 0,91, baseando-se nas novas observações. Porém, em casos críticos onde há uma ocorrência simultânea de indutância e capacitância concentradas, é necessário consultar um especialista (fabricante, consultor).

7.5. Caixas de Passagem

As caixas de passagem e caixas de junção são utilizadas para facilitar a manutenção, possibilitando o acesso fácil a pontos de testes e medição. São também necessárias para facilitar a montagem de cabos e tornar mais confiáveis as instalações, evitando-se emendas de cabos. Embora elas apresentem todas essas vantagens, quando usadas em áreas perigosas podem comprometer a segurança do sistema. Em sistemas com aprovação de segurança intrínseca, essas caixas devem ser especialmente projetadas e construídas, de modo que os terminais tenham espaçamento apropriado, não entre em curto entre si e em contato com o terra facilmente.

As caixas de junção devem conter apenas circuitos intrinsecamente seguros do mesmo sistema. Quando é inevitável a coexistência de sistemas diferentes, deve haver separação positiva, provida por uma placa metálica, devidamente aterrada.

Quando as caixas forem metálicas, devem ser aterradas. Não podem conter os metais mais facilmente inflamáveis, como zinco, cádmio, magnésio e similares. Normalmente o bronze, com 40% de zinco, é permitido. Caixas não metálicas devem ser de material não estático.

As caixas de junção que contem circuitos de segurança intrínseca podem ser abertas sem restrição, mesmo na presença garantida de atmosfera inflamáveis.

7.6. Aterramento

Por definição, o terra significa zero volt. Na eletrônica, os circuitos eletrônicos são aterrados, por uma ou pela combinação das seguintes razões:

1. proteção do pessoal contra choques elétricos,
2. proteção do sinal contra ruído e interferência,
3. remoção de eletricidade estática.

O aterramento, embora usado na maioria dos circuitos eletrônicos, é um assunto extremamente complexo, controverso e responsável pelo mau funcionamento de muitos sistemas de controle. Existem, ainda, terras virtuais, retorno de terra, terras com níveis de tensão diferentes entre si e diferentes do zero volt. As normas mundiais cobrem o aterramento com objetivos similares e geralmente resulta em instalações similares mesmo com caminhos diferentes.

O aterramento em segurança intrínseca não é mágica, nem impossível e tampouco contrario as normas elétricas comuns de aterramento; é uma extensão lógica das práticas naturais de aterramento. Qualquer exigência de aterramento especificada no certificado ou nas normas deve ser atendida. Quando não especificado, devem-se considerar o seguinte:

1. o circuito intrinsecamente seguro deve ser aterrado em apenas um ponto. Esse ponto pode estar, indistintamente, na área segura ou na área perigosa.
2. o barramento da barreira de energia deve estar aterrado. Quando a barreira estiver na área segura, não pode haver outro terra na área perigosa.
3. quando se usa cabo blindado, a blindagem deve ser aterrada em um ponto.
4. os invólucros dos circuitos intrinsecamente seguros, metálicos ou de material não estático, devem ser aterrados.
5. o sistema intrinsecamente seguro não necessita de proteção de terra, ou seja, não precisa de meio que assegure o desligamento automático no caso do falha.
6. a resistência do terra não deve exceder 1 ohm; na prática, este valor e outros menores são facilmente conseguidos.
7. as bandejas de fiação e os conduítes, quando usados, devem ser aterrados. Tal aterramento elimina qualquer possibilidade de ignição provocada por potenciais eletrostáticos.
8. a separação física dos terras do sinal intrinsecamente seguro, do sinal não intrinsecamente seguro e da potência de alimentação, pode ser verificada através de diagramas de fiação e deve ser confirmada pela inspeção visual, no local. A inspeção se resume no exame das terminações do cabo e nas condições físicas do cabo.

As barreiras devem ser ligadas ao ponto de terra elétrico do sistema principal com uma resistência menor que 1 R. A resistência importante é entre o fio do terra da barreira e o ponto de conexão da barra de terra principal.

A instalação das interfaces de isolação deve ser similar a da barreira, embora as conexões de terra não sejam necessárias.

7.7. Instalações com Fieldbus

Atualmente, o sinal de 4 a 20 mA está sendo substituído por protocolos digitais, como Fieldbus Foundation, Modbus, Hart, mesmo em instalações com atmosferas potencialmente explosivas. A instalação Fieldbus Foundation usa fiação conforme a norma IEC 61 158-2.

Potência limitada

A grande vantagem da segurança intrínseca é a possibilidade de desconectar e conectar instrumentos, fiação e barramentos enquanto o circuito permanecer energizado. Isto simplifica o comissionamento, manutenção e expansão, quando o barramento e as malhas associadas continuam operando. Isto é possível sem a monitoração do local para garantir que não há gás explosivo no local.

O conceito básico de segurança intrínseca é o mesmo para barramentos com protocolos digitais e para instrumentação convencional. A principal diferença está que nos barramentos digitais de campo há vários equipamentos ligados a uma única barreira.

Conforme a norma IEC 61 158-2, todos os equipamentos operam com 9 a 32 V cc (tipicamente 24 V cc), sendo eletricamente quase idênticos para equipamentos de entrada e de saída, analógicos e discretos. Assim, é requerido apenas um tipo de barreira. A principal diferença entre equipamentos de campo de diferentes fabricantes é seu consumo de potência, alguns tão baixos quanto 12 mA. Como a potência disponível para um barramento intrinsecamente seguro tem limites, é importante selecionar equipamentos com baixo consumo de energia, de modo que vários possam ser ligados a cada barreira. O consumo de potência é o principal fator limitante do número de equipamentos que podem ser ligados a um segmento intrinsecamente seguro. Este limite é bem abaixo de 32 equipamentos. Porém, as barreiras podem ser interligadas, ainda resultando em 16 equipamentos por interface. A barreira pode ser uma barreira Zener ou uma unidade de isolação. Equipamentos de campo intrinsecamente seguros consomem corrente e não fornecem potência para a rede.

Tipicamente as barreiras ficam na área segura. Há dois esquemas para fornecer potência de modo intrinsecamente seguro:

1. Conceito tradicional de entidade

2. Conceito de fieldbus intrinsecamente seguro.

O conceito de fieldbus intrinsecamente seguro é novo e permite maior número de equipamentos e cabos mais longos.

Uma desvantagem da segurança intrínseca é a muito pequena energia disponível que coloca limitações em vários equipamentos. Por exemplo, um solenóide intrinsecamente seguro não é tão robusto como o solenóide comum. A potência limitada significa também que o circuito limitando a corrente ativa para a proteção de curto circuito não é adequado para segurança intrínseca, porque durante o curto circuito a corrente vai até 60 mA, que mata o barramento.

Conceito de entidade

Os parâmetros de entidade para tensão, corrente, potência, capacitância, indutância estabelecidos no certificado de aprovação para equipamentos e barreiras intrinsecamente seguros torna fácil selecionar os equipamentos e barreiras adequados. Como agora vários equipamentos são dependurados em uma única barreira, é necessário compilar os parâmetros de entidade de todos os equipamentos e confrontar o resultado com os parâmetros da barreira. No conceito tradicional de entidade, a capacitância e indutância dos cabos estão concentradas e, portanto devem ser contadas, quando considerando a capacitância e indutância total para o lado perigoso da rede. Para Ex-ia IIC, a potência de saída é aproximadamente 1,2 W ou algo como 60 mA em 11 V cc. Devido à limitação da corrente, somente poucos equipamentos podem ser ligados a cada barreira. Do mesmo modo, a saída de tensão baixa limita o comprimento do cabo, quando somente uma pequena queda de tensão puder ocorrer.

É necessário selecionar uma barreira que tenha tensão, corrente e potência de saída menores que o equipamento de campo com os mais baixos parâmetros de entidade correspondentes. A barreira deve ser capaz de manipular a capacitância e indutância externas totais de todos os equipamentos ligados ao lado seguro, mais o cabo da rede. Normalmente, é a capacitância do cabo que é o fator limitante para a distância em instalações com segurança intrínseca baseada no conceito de entidade. Um modo fácil de avaliar a rede é fazer a tabela dos parâmetros de entidade para todos os componentes da rede.

Usando o conceito de entidade, o número máximo de equipamentos em uma barreira projetada para gás grupo IIC é cerca de quatro (4). Quando se tem uma barreira projetada para o grupo de gás II B, que é menos fácil de entrar em ignição que o grupo IIC e possui limites menos exigentes de energia, maior número de equipamentos pode ser ligado à barreira.

Limite de potência dos equipamentos

No modelo de fieldbus intrinsecamente seguro, a capacitância e indutância não estão concentradas nem estão desprotegidas, desde que os parâmetros dos cabos estejam dentro de dados limites. Pela mesma razão, as barreiras para fieldbus intrinsecamente seguro não tem capacitância e indutância especificadas permitidas. As barreiras de fieldbus intrinsecamente seguro tem uma saída trapezoidal fornecendo 1,8 W de potência de saída para Ex ia IIC, que permite maior número de equipamentos do que a barreira com a tradicional entidade.

Nem todo equipamento aprovado para fieldbus intrinsecamente seguro pode manipular 1,8 W. Há barreiras para fieldbus intrinsecamente seguro que fornecem somente 1,2 W de potência de saída, convenientes para equipamentos com uma menor potência de saída especificada. Assim, deve-se verificar o limite de potência dos equipamentos. Equipamentos com menor limite de potência podem ser ligados a barreira, em menor número, porém ainda com cabo comprido e não requerem a necessidade de calcular indutância e capacitância.

Equipamentos certificados para fieldbus intrinsecamente seguro possuem capacitância baixa e indutância desprezível, algo como 5 nF e 10 μH. Cabos com parâmetros dentro das faixas especificadas podem trabalhar em instalações com fieldbus intrinsecamente seguro com até 1 km, com o tamanho máximo da derivação de 30 m.

É importante que a barreira e os equipamentos de campo sejam certificados para fieldbus intrinsecamente seguro. Barreiras e equipamentos não fieldbus intrinsecamente seguro não podem ser usadas em fieldbus intrinsecamente seguro. Equipamentos de campo fieldbus intrinsecamente seguro devem ser capazes de manipular a alta saída de potência de uma barreira fieldbus intrinsecamente seguro. Para ser compatível com uma barreira típica fieldbus intrinsecamente seguro, a Pi do equipamento deve ser maior que a potência de 1,8 W fornecida pela barreira.

Outra vantagem do fieldbus intrinsecamente seguro é que a substituição do equipamento é mais simples, porque o casamento é mais fácil. Equipamentos que tenham somente a aprovação de entidade não

podem ser ligados a um barramento de fieldbus intrinsecamente seguro.

Usando o conceito de fieldbus intrinsecamente seguro, o número máximo de equipamentos em uma barreira projetada para gás grupo IIC é cerca de oito (8). Este número é maior quando se usa uma barreira projetada para gás grupo IIB. Equipamentos de fieldbus intrinsecamente seguro projetados para uso com gás grupo IIB devem ser capazes de manipular 5,3 W.

8. Manutenção

A manutenção do sistema, relacionada com o funcionamento e operação do sistema de controle pode ser feita, com poucas restrições, nos equipamentos do sistema de segurança intrínseca. Os instrumentos com aprovação de segurança intrínseca podem ser abertos em locais garantidamente perigosos. As medições e os ajustes de teste, como de zero, de largura de faixa, de sintonia dos controladores, podem ser feitas normalmente em equipamentos intrinsecamente seguros e na presença de atmosfera perigosa. A exigência requerida é que tais medições e testes sejam feitos com instrumentos certificados para uso de segurança intrínseca. A limitação é justamente a pouca disponibilidade de equipamentos de testes e medição com aprovação de segurança intrínseca.

A maioria dos instrumentos de teste é portátil e para o uso em medições no sistema intrinsecamente seguro, os instrumentos devem ser obrigatoriamente auto-alimentados por baterias especiais, com baixa tensão e de alta resistência interna. Geralmente há resistores em serie para limitar a corrente em casos de falhas.

O fato de um instrumento ser portátil e transportável o torna pouco confiável e seguro e por isso seu uso deve ser evitado. Como os instrumentos portáteis estão sujeitos a maior desgaste e estrago, eles também devem ser mais frequentemente inspecionados e sua entrada na área perigosa deve ser controlada rigorosamente. Há especialistas, que sugerem a proibição do uso de qualquer instrumento de teste na área perigosa, mesmo com certificado, a não ser que se garanta a não presença de gases inflamáveis na atmosfera. Seus argumentos, bastantes lógicos, são que os equipamentos especiais, com aprovação de segurança intrínseca, frequentemente se tornam de uso indiscriminado para tudo que é medição necessária.

A manutenção de segurança intrínseca exige a substituição exata do componente e o cuidado em manter as distâncias entre terminais no ar e no cartão do circuito impresso.

É extremamente difícil garantir o cumprimento de normas e regras de procedimentos pelo técnico que executa os serviços. Depois do reparo ou da modificação, a norma requer uma inspeção por uma pessoa competente para garantir a conformidade com a documentação do sistema. O inspetor deve ser outra pessoa diferente do reparador.

O equipamento reparado deve ser marcado convenientemente.

As exigências de segurança durante a manutenção são idênticas às requeridas durante a operação normal. Antes de fazer qualquer medição, ajuste ou calibração, é essencial entender como o instrumento de teste interage com o sistema sob reparo. Nenhuma ação deve ser tomada a não ser que seja especificamente permitida ou que todas as conseqüências possíveis sejam previsíveis e não haja nenhum risco de qualquer perigo.

De um modo geral, pode-se afirmar que, em sistemas intrinsecamente seguros:

1. a manutenção só deve ser feita por pessoal competente.
2. é proibido o uso de voltímetros e amperímetros, mesmo que não tenha alimentação interna, sem aprovação de segurança intrínseca. O perigo de seu uso pode estar relacionado com armazenamento de energia pela bobina.
3. é proibido o uso de medidores de isolação, tipo *megger* cujo principio de operação requer a geração de altas correntes
4. é proibido o uso de ohmímetro, que possui bateria para alimentação, quando não aprovado para segurança intrínseca.
5. é permitido o uso de instrumentos aprovados, porém sua aplicação deve ser limitada, restrita e não incentivada.
6. é permitido o uso de lanternas, rádios de comunicação, sistemas de chamada pessoal, desde que aprovados para segurança intrínseca.
7. é permitido o uso de relógios digitais de pulso, com mostradores a LED ou quartzo liquido, pois embora sejam alimentados com bateria, o risco é desprezível.
8. é proibido o uso de rádios portáteis, maquinas fotográficas com flash de qualquer tipo, a não ser que haja a garantia, por analisadores de gases, da ausência de atmosfera perigosa.
9. obviamente é proibido o uso de isqueiro, fósforo, solda elétrica ou a

gás, ferro de solda, que são fontes termais de energia.

10. o transito de veículos automóveis, elétricos, a gasolina ou a diesel é limitado a algumas áreas e devem atender exigências extras, como, por exemplo, cortador de chama no escapamento.
11. em caso de duvida, consulte a agência responsável pelo certificado e enquanto não há resposta, não tome nenhuma ação. Em situações duvidosas, tomar os cuidados de desligar a energia elétrica ou assegurar que a área não contenha a atmosfera perigosa.

Na manutenção dos equipamentos da área segura, associados aos sistema de segurança intrínseca, também deve se tomar cuidado, pois pode provocar catástrofes na área perigosa.

A alimentação principal pode ser usada, desde que sejam aplicadas as precauções normais.

Desligar a fiação da área perigosa e usar o simulador local para a duração do trabalho. A fiação desligada pode ser isolada ou aterrada durante a manutenção, para garantir a segurança.

As barreiras passivas podem ser verificadas pela medição de sua resistência terminal a terminal. As barreiras ativas e/ou os isoladores necessitam de malhas de simulação para a verificação do desempenho.

As interfaces intrinsecamente seguras não são projetadas usualmente para serem reparadas no campo, de modo que o reparo da malha é por substituição da unidade, se a interface está defeituosa.

O teste regular de interfaces de segurança intrínseca não é necessário e nem recomendado.

A vantagem absoluta do conceito de segurança intrínseca está exatamente relacionada com a manutenção: há pouquíssimas restrições.

As inspeções relacionadas com a segurança intrínseca se referem basicamente, quando da primeira vez a:

1. garantir que a fiação não possua níveis de capacitância e indutância maiores que o estipulado pelo projeto,
2. garantir que não haja mistura da fiação de segurança intrínseca com outras fiações estranhas e diferentes, mesmo que seja de controle,
3. garantir que a marcação do sistema de segurança intrínseca continue visível e respeitada.

As inspeções posteriores requerem a verificação da barreira e do terra. A barreira não pode ser testada em operação, mas apenas em bancadas localizadas em área segura. Deve se tomar cuidado para não destruir a barreira, pelo rompimento do fusível, quando se faz o teste.

9. Inspeção

A inspeção dos sistemas instalados é necessária:

1. após a instalação e antes do comissionamento
2. durante a vida da planta para garantir que a segurança da planta não foi comprometida através de:
   a) modificações não autorizadas
   b) ataques ambientais
   c) desgaste e uso gerais

As normas sugerem inspeção de rotina em intervalos não excedentes de 2 anos, com testes de isolação em amostras de, por exemplo, 10%.

A manutenção dos sistemas instalados é necessária:

1. para manter a planta operando
2. para retornar a planta ao seu nível original de segurança, quando ele tiver sido comprometido.

As exigências globais da inspeção de segurança intrínseca são:

1. os equipamentos devem ser instalados de acordo com os desenhos e diagramas, completamente identificados e em perfeito estado funcional
2. os cabos intrinsecamente seguros e não intrinsecamente seguros devem ser segregados adequadamente.
3. as distâncias dos terminais no ar e no circuito impresso devem ser aceitáveis onde os núcleos dos cabos entram em blocos terminais.
4. a conexão do terra intrinsecamente seguro deve ser separado do terra da planta e outros terras elétricos, exceto em um ponto - o ponto do terra principal do sistema elétrico.
5. as malhas devem ser ligadas ao terra em um único ponto, usualmente o mesmo ponto do terra das barreiras.
6. os resultados da inspeção devem ser registrados para posterior verificação e uso.

As caixas de junção em circuitos de segurança intrínseca são basicamente requeridas para evitar o aterramento e o curto-circuito dos cabos inadvertidos.

A caixa à prova de tempo não é fundamental para a segurança mas é importante operacionalmente.

As terminações requerem distâncias de 4 mm para o fio do terra e 6 mm em outros circuitos

As terminações devem ser confiáveis e corretamente dimensionadas.

10. Certificados

O conceito de segurança intrínseca se refere mais a sistema do que a equipamentos individuais. Porém, para o sistema completo ser intrinsecamente seguro, há normas que se referem aos equipamentos do sistema, outras se referem a fiação.

Há diferentes concepções, quanto aos equipamentos com segurança intrínseca: a certificação individual de todos os componentes da malha e o conceito de parâmetros da entidade.

A primeira filosofia é a de atribuir certificados aos equipamentos. O sistema de segurança intrínseca é constituído de componentes montados no campo e na sala de controle, todos com o mesmo certificado de segurança intrínseca. Mesmo certificado significa o certificado fornecido pela mesma agência certificadora, podendo ser atribuído a equipamentos de diversos fabricantes. Normalmente, o sistema inclui a barreira de energia, que também é certificada. Essa filosofia de certificados coerentes dos equipamentos é mais restritiva e menos flexível, pois exige certificados de mesma agência e o conhecimento prévio de listas cruzadas de referência, para indicar quais equipamentos de fabricantes diferentes são compatíveis.

Em segurança intrínseca, embora seja crucial o conceito de aprovação, a situação é complicada pois há vários tipos de certificação, a nível de componente, de equipamento e de sistema; há certificado de teste, de aprovação e de conformidade. Além do certificado, há a licença concedida pelo laboratório ao fabricante de equipamentos.

Os principais documentos emitidos, por exemplo, pelo CENELEC, são:

Licença
Certificado do componente
Certificado do equipamento
Certificado do sistema
Certificado de conformidade

Licença

Documento renovável em base de alguns anos, que permite ao seu detector reproduzir a marca de certificação do laboratório nos equipamentos cobertos pela certificação correspondente. Este documento, na realidade, não faz parte da certificação. É o único documento renovável.

Certificado do componente

Apresenta os parâmetros de aprovação para um componente.

Certificado do equipamento

Apresenta os parâmetros aprovados para os equipamentos relacionados.

Certificado do sistema

Apresenta as condições em que os equipamentos especificados em certificados separados podem ser usados, por exemplo, combinação de transmissores com barreiras.

Certificado de conformidade

Apresenta os parâmetros de aprovação para o equipamento relacionado, que está de conformidade com as exigências de determinada norma.

Em termos gerais, a maioria dos equipamentos recebe dois documentos: o certificado de equipamento e o de conformidade. Obviamente, o fabricante possui a licença do laboratório certificador.

11. Normas

NBR 8447, Equipamentos para atmosferas explosivas - Segurança Intrínseca - Tipo de proteção "i".

IEC 79-11 - Electrical apparatus for explosive atmospheres - Construction and test of intrinsically-safe and associated apparatus.

EN 50020 - Electrical apparatus for potentially explosives atmospheres - Intrinsic safety "i".

12. Conclusão

Como resultado de sua longa evolução, a segurança intrínseca finalmente atingiu a sua maturidade, quando um maior entendimento levou às importantes simplificações:

1. todas as autoridades de certificação concordam que os dispositivos simples, que no geram e nem armazenam energia elétrica significativa, podendo ser usados sem certificação. Os sensores tipo RTD, termopar, células de carga, LEDs, fotocélulas, chaves podem ser usados livremente, sem aprovação, desde que ligados à barreira apropriada.
2. CENELEC aboliu sua exigência para um fator adicional de segurança para circuitos empregando chave em Zona 0 (1984).
3. Todas as autoridades de certificação adotam agora o enfoque simplificado e direto, que possibilita ao usuário montar sistemas de segurança a seu gosto, usando equipamentos de qualquer fabricante, desde que eles tenham os parâmetros elétricos críticos em valores compatíveis com as exigências da barreira de energia. Até então, os sistemas deviam ser certificados como um sistema global, de modo inflexível e restritivo. Este avanço importante foi feito na Alemanha (1970), adotado pelo CENELEC, pelos EUA e recentemente pelo Japão. O mercado muito rapidamente sentiu que isso deveria ter um nome e o chamou de conceito de entidade ou parâmetros da entidade ou de parametrização.

Atualmente e no futuro, novos dispositivos eletrônicos estão sendo desenvolvidos, permitindo mais coisas a serem feitas dentro dos limites da energia de segurança intrínseca. Por exemplo, os microprocessadores modernos permitiram o transmissor inteligente, que corrige suas próprias imprecisões, relata seu desempenho operacional e pode ser configurado, calibrado e recalibrado remotamente. Eles também tornaram possível o multiplexador intrinsecamente seguro, que recebe dados de muitos sensores localizados na área perigosa e sai um único sinal serial, através de dois fios. Com a adição da baixa potência, o multiplexador se torna uma estação de controle local com segurança intrínseca, capaz de acessar todas as informações na sala de controle principal e, se necessário, assumir muitas de suas funções.

Como conclusão final, certamente a segurança intrínseca continuará a substituir a técnica de prova de explosão ou prova de chama para a medição e controle.

Segurança aumentada Ex-e

Objetivos de Ensino

5. *Conceituar a proteção de segurança aumentada e os parâmetros essenciais no projeto e construção do equipamento.*
6. *Apresentar as características da proteção segurança aumentada.*
7. *Listar os locais permitidos para equipamentos Ex-e.*
8. *Mostrar as aplicações típicas.*
9. *Dar exemplo de combinação de proteções com segurança aumentada.*
10. *Identificar a marcação e listar as normas concernentes.*

1. Principio de funcionamento

A técnica de proteção contra explosão de segurança aumentada inclui medidas adicionais às adotadas na prática normal industrial, de modo a dar uma maior segurança, tornando menos provável e possível o aparecimento de temperaturas excessivas e a ocorrência de arcos ou faíscas nos equipamentos elétricos, nas condições normais de operação.

A técnica se baseia na construção especial dos equipamentos, baseada na boa qualidade dos materiais, projeto, montagem e *layout* do circuito para eliminar qualquer faísca ou ponto quente.

Fig. 8.1. Conceito de segurança aumentada

2. Características

O equipamento com proteção de segurança aumentada não deve ser capaz de produzir arcos, faísca ou alta temperatura em condição normal de operação. Assim, todos os cuidados construtivos, de fiação, terminais, isolação têm o objetivo de são para evitar arcos, faísca ou alta temperatura.

2.1. Dissipação de potência

Para garantir a observância dos limites de temperatura durante a operação, todas as caixas de junção têm atribuídas uma dissipação de potencia admissível. O máximo aumento de temperatura admissível nas caixas depende de dois fatores:

1. Os terminais e condutores instalados na caixa, que podem produzir aquecimento interno local
2. Aquecimento de terminais individuais e condutores em relação à temperatura local.

Para simplificar as coisas para o eletricista, o fabricante fornece uma tabela para cada caixa de junção listando os itens admissíveis para a instalação. Ela contém a informação sobre o máximo número de terminais e condutores para determinada corrente especificada e secções transversais dos condutores.

2.2. Entradas de cabos

Todas as entradas de cabos e condutores devem ser sujeitas a um procedimento de atribuição de conformidade e certificadas. Dependendo do resultado do teste de tensão, as conexões de cabo que podem ser usadas somente para cabos e fiações instalados permanentemente são atribuídas a letra suplementar “X”.
A característica que define o tipo de proteção

do equipamento não pode ser afetada desfavoravelmente pela entrada de cabo.

2.3. Transformadores

Os transformadores devem ser protegidos no lado do primário contra o efeito de curtos-circuitos e em ambos primário e secundário contra aquecimento excessivo como conseqüência de uma sobrecarga.

2.4. Conectores

Os conectores devem ser mecanicamente ou eletricamente intertravados para permitir a colocação ou retirada somente no estado desenergizado. Desvios são permitidos se os conectores são dedicados a apenas um item do equipamento e são fixados contra desconexão não intencional. Nestes casos, deve-se usar uma etiqueta de advertência: “Não desconectar enquanto energizado”.

2.5. Distância mínima no circuito (*creepage*)

Creepage (distância de isolação) é a distância entre duas partes condutoras ao longo de uma superfície isolante. Nos equipamentos com segurança aumentada, as distâncias do espaçamento entre as partes condutoras de diferentes potenciais devem satisfazer as exigências listadas na tabela abaixo. Ranhuras na superfície de partes isolantes podem ser incluídas somente em medição de distâncias de espaçamento se elas forem, no mínimo, 2,5 mm profundas e 2,5 mm largas.

O dimensionamento das distâncias de isolação depende da tensão de trabalho, resistência da isolação e o contorno da isolação.

Materiais isolantes elétricos são especificados de acordo com seu índice de rastreamento comparativo (CTI – comparative traking index), da norma IEC 60 112. Como os materiais isolantes inorgânicos, tais como vidro e cerâmica, não deixam qualquer traço de corrente de espaçamento, a determinação do CTI pode ser omitida. Estes materiais são normalmente chamados de Classe I.

Tab. 7.1. Resistências de rastreamento de materiais isolantes

Classe de material	Índice comparativo de rastreamento (CTI)
I	600 ≤ CTI
II	400 ≤ CTI < 600
IIIa	175 ≤ CTI < 400
IIIb	100 ≤ CTI < 175

Tab. 7.2. Distâncias mínimas no circuito

Tensão serviço U (volts)	Distância mínima no circuito (mm)		
	Classe de material		
	I	II	IIIa
U ≤ 15	1,6	1,6	1,6
15 < U ≤ 30	1,8	1,8	1,8
30 < U ≤ 60	2,1	2,6	3,4
60< U ≤ 110	2,5	3,2	4,0
110< U ≤ 175	3,2	4,0	5,0
175< U ≤ 275	5,0	6,3	8,0
275< U ≤ 420	8,0	10,0	12,5
420< U ≤ 550	10,0	12,5	16,0
550< U ≤ 750	12,0	16,0	20,0

2.6. Distância mínima no ar (*clearance*)

Clearance (distância de escoamento) é a distância mais curta no ar entre dois caminhos condutores desencapados. A tensão de alimentação é tomada como a base para determinar a distância de escoamento entre as partes vivas e o terra. Isto também se aplica para uso em sistemas com ponto neutro solidamente aterrado. A tabela seguinte mostra a mínima distância de escoamento como uma função da tensão de isolação especificada.

Particularmente, quando se têm componentes com partes vivas desencapadas, é muito importante observar a exigência da mínima distância de escoamento.

Tab. 7.3. Distâncias mínimas no ar

Tensão serviço U (volts)	Distância mínima no ar (mm)
U ≤ 15	1,6
15 < U ≤ 30	1,8
30 < U ≤ 60	2,1
60< U ≤ 110	2,5
110< U ≤ 175	3,2
175< U ≤ 275	5,0
275< U ≤ 420	6,0
420< U ≤ 550	8,0
550< U ≤ 750	10,0

2.7. Temperatura limite

Um dos objetivos da proteção de segurança aumentada é impedir a elevação da temperatura do equipamento. Esta temperatura limite se refere a:

1. Máxima temperatura da superfície do equipamento
2. Máxima temperatura resultante da estabilidade termal dos materiais isolantes utilizados no equipamento.

Quando aplicada a motores, a proteção de segurança aumentada trata de:

1. Limitar a temperatura do enrolamento
2. Determinar o tempo máximo para desligamento pelo dispositivo de proteção
3. Aumentar a isolação, utilizando dupla camada de impregnação

2.8. Motor com segurança aumentada

Motores são usados com dispositivos de proteção de sobrecorrente que são liberadas no evento de condições de partida difíceis ou de uma falha. Após algumas horas de operação na corrente nominal, um motor atinge sua temperatura de operação continua. Se o rotor roda em falso, devido a defeito e a tensão de alimentação não é desligada, o motor desenvolve uma corrente maior, a corrente de partida IA, que é a corrente IN especificada multiplicada. Se o motor não for desligado, ele atinge sua temperatura limite depois do tempo tE. O tempo tE depende da relação da corrente de partida IA/IN.

O dispositivo de proteção contra sobrecorrente deve desligar o motor antes que ele atinja a temperatura limite, ou seja, dentro do tempo tE. O dispositivo de proteção preenche a mesma função quando o motor roda em falso, independente de mo motor estar frio ou quente.

Se o motor e o estator levam diferentes tempos para se aquecerem, o menor tempo deve ser considerado o tE. O tipo de etiqueta e o certificado de aprovação do motor estabelecem o tempo tE e a relação da corrente de partida IA para a corrente especificada IN.

Os dispositivos de proteção devem manter os tempos especificados de desligamento (trip) dentro de uma tolerância de ±20%.

A fig. 8.4. mostra a característica de um relé termal com um exemplo para verificação. O relé, que é ajustado na corrente nominal do motor, atua em 7,4 vezes a corrente nominal dentro de um período que é menor que o tempo tE. O relé é conveniente para proteger o motor.

Os dispositivos de proteção devem também desligar o motor no evento de falha de uma fase. Aqui, os relés ou disjuntores de sobrecorrente termal podem ser usados, se, por exemplo, eles forem equipamentos com proteção de falha conforme VDE 0660.

Com motores em conexão triangulo, o dispositivo de proteção deve preencher as seguintes condições: No motor dimensionado e com falha de fase, o tempo de desligamento será testado com 0,87 vezes a corrente de partida do motor, enquanto o tempo de desligamento deve estar dentro do tempo tE. Este teste é necessário para detectar a temperatura aumentada por cada das cargas desiguais dos enrolamentos, quando não se puder identificar por meio do consumo da corrente principal.

Em geral, motores elétricos do tipo segurança aumentada podem somente ser usados em operação continua ou para normal, raramente em partidas repetidas, de modo a evitar que o aumento na temperatura ocorrendo durante a partida exceda as temperaturas limite permissíveis. No caso de motores na faixa de baixa tensão, a proteção termal do motor tem a vantagem de, devido a seus termômetros com coeficiente de temperatura positivo embutidos no enrolamento, o aumento da temperatura durante a partida em operação de chaveamento ser monitorado.

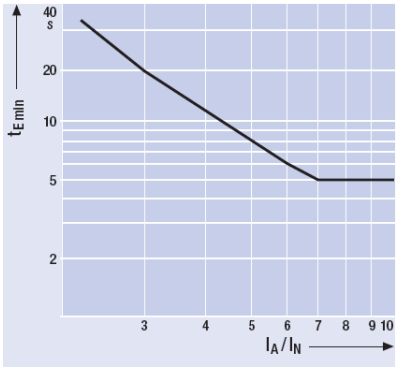


Fig. 8.2. valores mínimos para o tempo tE

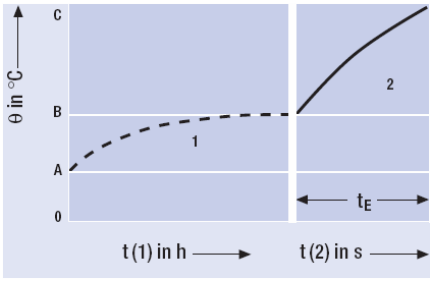


Fig. 8.3. Explicação de como calcular tE:

- A máxima temperatura ambiente permissível
- B temperatura na operação especificada
- C temperatura limite
- t tempo
- Q temperatura
- 1 aquecimento na operação especificada
- 2 aquecimento com o motor sendo deslizado

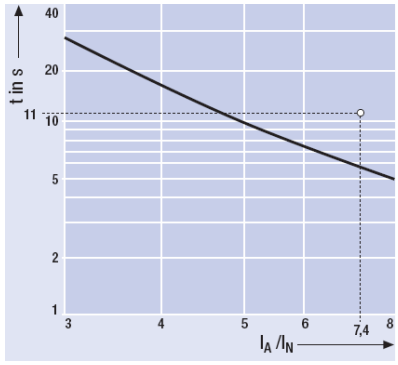


Fig. 8.4. Característica de desligamento do relé termal de frio

Tempo tE do motor a ser protegido 11 s

IA/IN do motor a ser protegido 7,4

2.9. Classificação mecânica do invólucro

O invólucro não precisa ser robusto suficiente para conter uma explosão, pois não há explosão, mas necessita ser à prova de tempo, resistente a impacto e à prova de solvente. A classificação mecânica IEC IP 54 é a típica.

Não deve ser possível que correntes de vazamento ou arcos, como resultado de influências externas, tais como água ou material estranho, sejam desenvolvidos. Invólucros que contenham partes energizadas não isoladas devem satisfazer um grau de proteção mínimo de IP 54.

Se máquinas elétricas rotativas forem instaladas em ambientes limpos e forem regularmente controladas por pessoal qualificado, então a proteção IP 20 é suficiente para o grupo II. A faixa restrita de uso é estipulada na máquina. Todos os invólucros são submetidos a um teste de impacto mecânico como parte do teste específico.

Invólucros e caixas de passagem que contenham partes vivas devem estar de conformidade com o grau de proteção IP 54. Invólucros e caixas de junção que contém somente partes isoladas podem ser feitos com grau de proteção IP 44.

2.10. Isolação

A segurança aumentada é garantida por meio de melhor isolação das partes energizadas e por maiores distâncias de espaçamento no circuito e no ar, comparado com um equipamento padrão. Com este tipo de proteção, a temperatura limite também se aplica a todas as superfícies dentro do invólucro.

Todo material isolante é sujeito a envelhecimento natural. Para prolongar a vida útil dos materiais isolantes de enrolamentos, comparado aos enrolamentos em equipamentos padrão, a temperatura limite é diminuída. Isto reduz o perigo de danificar os enrolamentos como um resultado de vazamentos de terra ou curtos-circuitos internos.

A seguinte tabela lista as temperaturas limite para enrolamentos isolados em equipamentos com proteção do tipo segurança aumentada.

2.11. Terminais e conectores

Como prescrito pela norma EN 50 019, todos os terminais devem ser protegidos contra afrouxamento de trabalho. O terminal deve ser projetado de modo que os condutores não podem ser soltos do terminal e a pressão de contato suficiente seja garantida. Os condutores não podem ser danificados de nenhum modo pelo ponto de contato do terminal.

É possível estabelecer uma conexão flexível por meio de uma conexão de cabo em forma de trompete. Para eliminar a possibilidade de dano durante a operação normal, todas as partes da entrada do cabo devem estar conforme com as exigências de impacto mecânico. Terminais da conexão devem ter salvaguardas contra auto-afrouxamento e devem fornecer pressão de contato suficiente.

Somente um fio pode ser conectada a cada terminal, a não ser que o terminal seja especialmente projetado para aceitar vários fios (e.g., terminal coletivo). As extremidades de condutores flexíveis devem ser fixadas com uma fita metálica.

Fig. 8.5. Conectores Ex-e

Para a proteção de segurança aumentada “e”, os seguintes tipos de conexões internas são permitidos:

1. Conexões rosqueadas garantidas contra afrouxamento de trabalho
2. Pressão (crimping)
3. Solda (soldering), desde que os condutores sejam também mantidos mecanicamente juntos

Quando for usado alumínio, devem ser tomadas precauções especiais contra a corrosão eletrolítica.

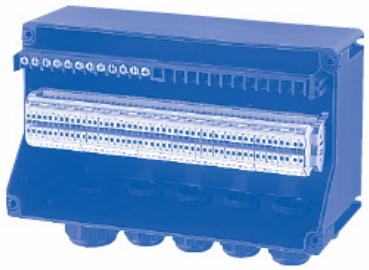


Fig. 8.6. Caixa de terminal Ex-e

2.12. Caixas de junção e de passagem

As caixas de passagem nos sistemas Ex-e precisam ter terminais também com aprovação Ex-e a capacidade da caixa é determinada por fatores de especificação. É importante a conformidade com a exigência da máxima temperatura de superfície e com as distâncias no circuito impresso e no ar.

Para garantir que os limites de temperatura em uma planta não sejam excedidos, uma dissipação de potência máxima é estabelecida para cada caixa de junção em particular.

Os limites admissíveis de aquecimento nestas caixas dependem de dois fatores:

1. O número de terminais e condutores dentro do invólucro que criam calor no seu interior
2. O aquecimento de cada terminal e condutor individual comparado com a temperatura local em redor deles.

Para tornar as coisas mais fáceis para o eletricista, o fabricante da caixa de junção fornece uma tabela para cada caixa, indicando o número máximo de terminais e condutores para varias especificações de corrente e bitola (secção transversal) do condutor.

Corrente, A	Secção transversal, mm^2				
	1,5	2,5	4	6	10
3	42				
6	42	42			
10	10	42	36		
16		8	36	32	
20			18	32	26
25				24	26
Máximo número terminais	21	21	17	16	13

2.13. Luminárias

Uma grande aplicação de segurança aumentada é em luminárias. Em condição normal, raramente uma luminária produz faísca ou arco voltaico e por isso a maior preocupação na construção de uma luminária com segurança aumentada é sua temperatura de operação.

A construção da luminária deve ser tal que nenhuma parte dela atinge a temperatura limite, no caso de quebra do bulbo. Para se obter isso, as luminárias devem:

1. Ser do tipo fluorescente de partida fria,
2. Ter um único pino, pois dois pinos poderiam provocar faísca ou arco.
3. Ser do tipo incandescente de uso geral, onde o filamento se resfria rapidamente.
4. Não conter sódio metálico.
5. Reatores eletrônicos, com enrolamentos com maior isolação e mais robustos.

Uma luminária típica com segurança aumentada possui invólucro de plástico, com a parte transparente em policarbonato, com grande resistência mecânica. Geralmente, se combinam as técnicas Ex-d e Ex-e na luminária, ficando Ex-ed.

3. Locais permitidos

No inicio, a segurança aumentada só era aplicada em Zona 2. Atualmente, por causa da influência alemã, equipamentos com proteção de segurança aumentada podem ser usados em Zona 1 e Zona. Eles não podem ser usados em Zona 0.

4. Aplicação

A grande vantagem da proteção de segurança aumentada é a economia, pois tipicamente instrumentos com esta proteção são mais simples que a segurança intrínseca.

A proteção segurança aumentada é usada para equipamentos elétricos que, sob condições de operação normais, não formam uma fonte de ignição. Como conseqüência, equipamentos que produzem arcos ou faíscas durante a operação normal ou equipamentos que geram calor excessivo não são adequados para este tipo de proteção.

Portanto, este tipo de proteção não é usado para disjuntores, botoeiras e motores com anel deslizante (slip ring).
Instrumentos que possuem potenciômetro para ajustes de zero ou de amplitude de faixa (span) não podem ser de segurança aumentada.

As aplicações de segurança aumentada incluem motores de indução com gaiola de esquilo, luminárias, caixas de junção, válvulas solenóides. Os motores são projetados especialmente para permanecer dentro de limites estabelecidos de temperatura, mesmo com o rotor bloqueado e possui ligações especiais para evitar o afrouxamento mesmo com vibração severa.

5. Tipos de proteção combinados

Por questão de economia, é uma prática normal combinar um invólucro à prova de chama Ex-d com uma caixa de conexão com proteção de segurança aumentada Ex-e. Tal combinação é também usada para luminárias e motores.

Isto tem a vantagem que o instalador não precisa abrir o invólucro à prova de chama quando fazendo a manutenção da instalação. De conformidade com o grau de proteção IP 54, o cabo pode ser ligado a uma caixa de conexão tipo segurança aumentada. Equipamentos de proteção para enrolamentos que garantem que somente os valores de temperatura limite reduzidos especificados na tabela são atingidos.

6. Marcação e normas

A origem da proteção aumentada é alemã e *erhochte sicherheit* significa *segurança aumentada*, dai a designação de ***Ex-e*** para a técnica.

As normas relativas à segurança aumentada são:

1. *NBR 9883, Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Segurança aumentada - Tipo de proteção "e".*
2. *IEC 60 079-11 - Electrical apparatus for explosive atmospheres - Construction and test of electrical apparatus, type of protection "e".*
3. *EN 50 019 - Electrical apparatus for potentially explosives atmospheres - Increased safety "e".*

Instalação e Manutenção

Objetivos de Ensino

1. *Descrever a manutenção dos seguintes equipamentos elétricos, bem como dos ambientes de* ***contorno****:*
2. *Equipamento elétrico e fiação instalados nas áreas perigosas.*
3. *Equipamento associado e fiação intrinsecamente segura em áreas perigosas.*
4. *Protegendo equipamentos indispensáveis para garantir as propriedades da proteção contra explosão.*

1. Definições

1.1. Ajuste

Ajuste é a atividade de atuar em instrumento para eliminar suas incertezas sistemáticas, logo depois de verificar sua inexatidão, através da calibração. As atividades combinadas de calibração e ajuste é que garantem a exatidão do instrumento.

1.2. Calibração

Calibração é a atividade de comparar a saída de um instrumento com os valores verdadeiros convencionais fornecidos por um padrão. A calibração é necessária para verificar a exatidão de uma medição.

1.3. Inspeções

Inspeção significa verificação (check up) do equipamento elétrico e seu ambiente de contorno de modo visual, áudio, táctil ou por meio de instrumentos.

1.4. Montagem

Montagem é a instalação física dos equipamentos e instrumentos na área industrial, com ligações com as fontes de alimentação e as interligações de sinais de informação. A montagem é feita de conformidade com o projeto documentado da planta e deve-se garantir que o montado está igual ao projetado.

1.4. Manutenção

Manutenção significa inspeções, recondicionamento ou reparo de equipamento elétrico e seu ambiente de contorno, como resultado de inspeção, para garantir as propriedades da proteção contra explosão.

Remodelagem ou atualização de equipamento elétrico não é considerado trabalho de manutenção.

1.5. Operação

Atividade feita pelo operador de processo onde ele estabelece o ponto de ajuste de controle, os valores de atuação de alarme e intertravamento, troca gráficos de registradores, anota valores de indicadores, monitora as informações fornecidas pelos instrumentos da sala de controle e da área industrial.

1.6. Recondicionamento

Recondicionar significa o trabalho de substituir peças descartáveis (não duráveis) de equipamento elétrico e, deste modo, traze-lo para suas condições normais, para garantir as propriedades de proteção contra explosão.

1.7. Reparo

Reparo é o trabalho de levar o equipamento elétrico para as condições normais por conserto ou restauração, dentro de um limite, de partes danificadas ou desgastadas, para garantir as propriedades de proteção contra explosão.

1.8. Sintonia

Sintonia do controlador são os ajustes das suas ações proporcional, integral e derivativa, para assegurar sua resposta dinâmica mais adequada para o processo controlado.

1. Normas de instalação

A norma de instalação é a EN 60 079-14 (AGO 1997), mandatória e única desde 01 DEZ 1999. Esta norma contém as exigências específicas para o projeto, seleção e implantação de instalações elétricas em atmosferas de gases explosivos, temporárias, portáteis, transportáveis ou manuais.

As instalações elétricas em áreas perigosas devam ser também de conformidade com as exigências apropriadas para instalações em áreas não perigosas.

De modo a facilitar a seleção do equipamento elétrico apropriado e o projeto de instalações elétricas convenientes, as áreas perigosas são divididas em Zonas 0, 1 e 2, de acordo com a EN 60 079-10.

A Diretiva 94/9/EC (ATEX 95) classifica o equipamento nas Categorias 1G, 2G e 3G, para facilitar a correspondência entre zonas de locais e categorias de equipamentos.

Antes que se faça a montagem de uma instalação elétrica em atmosferas potencialmente explosivas, o responsável pela operação da instalação deve analisar e avaliar os riscos de explosão. A avaliação do perigo da explosão deve ser feita aplicando a diretiva de proteção contra explosão EX-RL: *Diretiva para evitar os perigos causados pelas atmosferas explosivas com uma compilação de exemplos*.

Além desta diretiva, há também as normas EN 1 127-1: Atmosfera explosiva – proteção contra explosão, Parte 1: Princípios fundamentais e métodos e EN 60 079: *Subdivisão de atmosferas potencialmente explosivas com gases*.

Finalmente, a diretiva 199/92/EC: Exigências mínimas para a melhoria da proteção da saúde e segurança dos empregados que estariam em risco devido a atmosferas explosivas, tornada lei desde 16 DEZ 1999.

O decreto relativo às instalações elétricas em atmosferas potencialmente explosivas (ElexV), junto com a norma VDE 0165/2.91 e as séries associadas de normas VDE 0170/0171 relacionadas com os tipos de proteção, bem como o decreto relativo a líquidos inflamáveis (VbF) com suas regras técnicas (TRbF), devem ser observadas para o projeto técnico da instalação.

DIN VDE 0105 se aplica a operação de instalações elétricas em atmosferas potencialmente explosivas. DIN VDE 0118 se aplica à montagem de instalações elétricas em minas subterrâneas.

Todas as normas, regras e regulações para a montagem de instalações elétricas que foram listadas até agora são exigências adicionais de proteção contra explosão, desde que já é assumido que as instalações elétricas estejam em conformidade com todas as outras leis, decretos e regras. No caso de contradições ou discrepâncias nas normas, a proteção contra explosão prevalece.

2. Classificação de áreas

O ponto de partida para a garantia da segurança de instalações em atmosferas potencialmente explosivas é a classificação dos locais em Zonas. Dependendo da ventilação local, relações de pressão, taxa de vazamento e de vários outros parâmetros, a ocorrência de uma atmosfera explosiva com uma mistura de ar, gases, vapores ou névoas inflamáveis, é definida pelas seguintes zonas, de acordo com a probabilidade de sua ocorrência.

Zona 0

Zona 0 inclui áreas em que uma atmosfera explosiva compreendendo uma mistura de ar com gases, vapores e névoas, está presente constantemente, por longos períodos ou freqüentemente.

Zona 1

Zona 1 inclui áreas em que uma atmosfera explosiva compreendendo uma mistura de ar com gases, vapores e névoas, é esperada ocorrer ocasionalmente.

Zona 2

Zona 2 inclui áreas em que uma atmosfera explosiva compreendendo uma mistura de ar com gases, vapores e névoas, é esperada ocorrer; mas, se ocorrer, em toda probabilidade é só raramente e por um curto período.

As zonas para ocorrência de atmosfera explosiva compreendendo ar e pós inflamáveis são definidas como segue:

Zona 20

Zona 20 compreende áreas em que uma atmosfera explosiva devida a misturas de ar e pós está presente constantemente, por longos períodos ou freqüentemente.

Zona 21

Zona 21 compreende áreas em que uma atmosfera explosiva devida a misturas de ar e pós pode ocorrer ocasionalmente.

Zona 22

Zona 22 compreende áreas em que uma atmosfera explosiva devida a misturas de ar e pós em redemoinho não é esperada ocorrer,

porém, se ocorrer, em toda probabilidade é só raramente e por um período curto.

Depois de definir as zonas, as áreas locais em que a ocorrência de uma atmosfera explosiva perigosa é esperada devem ser claramente e duravelmente marcadas usando os símbolos de proibição V2 (proibido chama, fogo e fumar) e sinais de advertência (Cuidado – atmosfera explosiva), de acordo com a VBG1, VBG125 e DIN 40 012-3.

Fig. 9.1. Sinal de proibição V2: proibido fogo, chama acesa e fumar

Fig. 9.2. Sinal de advertência: Cuidado, atmosfera explosiva!

Classe de temperatura – grupo de explosão

A classe de temperatura e o grupo de explosão são valores que dependem da substância e eles são documentados dentro do escopo da classificação de zonas, de acordo com a respectiva substância. Para uma delimitação apropriada da zona, é necessário determinar a classe de temperatura e o grupo de explosão relevantes da instalação, onde os parâmetros mais críticos devem sempre ser selecionados.

Uma classe de temperatura (T3) é alocada a uma substância inflamável (e.g., sulfeto de hidrogênio, T = 270 ^{o}C). Para este exemplo, somente equipamento com a classe de temperatura T3 a T6 pode ser usado. Equipamento com classe T1 e T2 não pode ser usado. Assim, a máxima temperatura de superfície do equipamento não pode provocar ignição na atmosfera explosiva circundante.

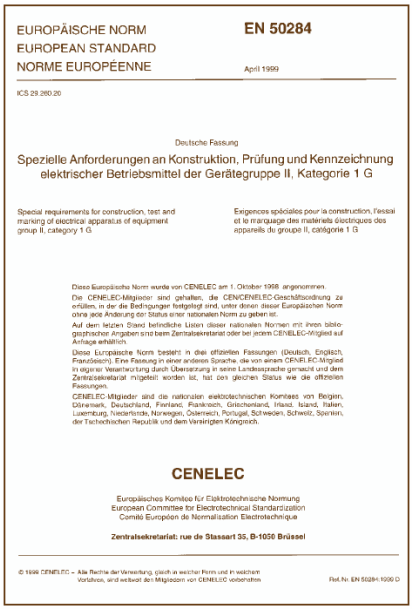
Quando se determina a classe de temperatura do equipamento, geralmente se trabalha com a hipótese de temperatura ambiente na faixa de -20 a 60 ^{o}C. Se o equipamento for usado em outra temperatura ambiente (geralmente maior), este equipamento deve ser projetado para esta temperatura, certificado e marcado como tal. No caso de certos equipamentos, a faixa de classe de temperatura (e.g., T3-T4) é dada. Aqui, por exemplo, é necessário considerar a influência do meio (meio de medição) na máxima temperatura de superfície e, portanto, na classe de temperatura. A conexão do meio de medição com a classe de temperatura é estabelecida no certificado de exame típico ou nas instruções de operação. O instalador e, mais tarde, o operador são responsáveis pela seleção e manutenção correta da classe de temperatura.

Condições atmosféricas

Todas as diretivas listadas anteriormente, leis, decretos e normas são baeadas na hipótese de uma atmosfera explosiva. Uma atmosfera explosiva compreende uma mistura explosiva de gases, vapores, névoas ou pós com ar, incluindo os aditivos usuais (umidade, contaminantes), nas condições atmosféricas. De acordo com as diretivas nacionais, as condições atmosféricas são definidas como

- pressão total de 0,8 a 1,1 bar
- temperatura de -20 a 60 ^{o}C.

Como regra, todas as normas são baseadas neste princípio, assim como os testes padronizados são também feitos nestas condições atmosféricas.



EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 50284

April 1999

ICS 29.260.20

Deutsche Fassung

Spezielle Anforderungen an Konstruktion, Prüfung und Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel der Gerätegruppe II, Kategorie 1 G

Special requirements for construction, test and marking of electrical apparatus of equipment group II, category 1 G

Exigences spéciales pour la construction, l'essai et le marquage des matériels électriques des appareils du groupe II, catégorie 1 G

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1. Oktober 1998 angenommen.

Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 1998 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten

Ref. Nr. EN 50284:1999 D

Fig. 9.3. Declaração de conformidade

Na prática, há aplicações onde os limites das condições atmosféricas são excedidos, por exemplo, as encontradas dentro das instalações de processo. Nestas condições, alguns parâmetros relacionados com a segurança podem também variar, como ponto de fulgor, temperatura de ignição.

3. Documentação

Conforme a nova norma de instalação, é essencial se ter a documentação fornecida pela fabricante (manual de instrução e a declaração de conformidade). O equipamento deve ser instalado de conformidade com sua documentação. Após a instalação completa do instrumento, devem ser feitos testes iniciais para garantir que o equipamento e a instalação estejam de conformidade com a norma EN 60 079-17.

Para a instalação correta, os seguintes documentos devem estar disponíveis:

1. Documentos (desenhos de construção, plantas de chão) com as Zonas incluídas
2. Instruções para implementação e interligações
3. Classe de temperatura ou temperatura de ignição do gás e classificação dos gases por Grupo (IIA, IIB e IIC)
4. Temperatura ambiente (usualmente entre -20 a +40 ^{o}C)
5. Influências externas (resistência à corrosão, efeitos mecânicos, termais e elétricos, vibrações ou umidade)
6. Documentos para o equipamento elétrico (com especial atenção prestada às condições anormais)
7. Descrição do sistema para sistema intrinsecamente seguro.
8. Declaração de conformidade para as partes individuais do equipamento

4. Instalações piloto

Uma instalação elétrica não precisa satisfazer as exigências se ela fora usada somente por períodos limitados, estiver sob a supervisão de pessoal especialmente treinado e se for satisfeita uma ou mais das seguintes condições, quando apropriado:

1. Medidas são tomadas para garantir que uma atmosfera explosiva perigosa não ocorre ou
2. Medidas são tomadas para garantir que este equipamento é desligado na ocorrência de uma atmosfera explosiva perigosa e que, após o desligamento, por exemplo devido a peças aquecidas, a ignição seja evitada
3. Medidas são tomadas para garantir que pessoas e o ambiente não são ameaçados por fogos ou explosões na instalação piloto.

Além disso, as medidas a serem tomadas são descritas por escrito por pessoal que

1. Seja familiar com as normas e os códigos de prática aplicáveis
2. Tenha acesso a toda informação necessária para fazer o estabelecido.

5. Seleção do equipamento

Depois de feitas a classificação da zona da área e a determinação da classe de temperatura e grupo de explosão, deve-se selecionar o equipamento elétrico com a proteção mais conveniente. Aqui, a regra diz que somente o equipamento elétrico que seja absolutamente essencial deva ser instalado em atmosfera potencialmente explosiva.

Em princípio, o equipamento deve ser selecionado e instalado de modo que seja suficientemente protegido contra influências externas que possam afetar a proteção contra explosão, e.g., influências químicas (solventes), umidade (água spray, condensação) ou vibração.

Se o equipamento é fornecido de acordo com a diretiva ATEX (Diretiva 94/4/EC), ele deve também ser marcado com o símbolo Ex. Além disso, a marca CE deve também ser afixada no equipamento.

A marcação do equipamento com a categoria do equipamento é nova. No caso de equipamento grupo II, esta marcação é feita em conjunto com o número da categoria e a letra G (gás) para gases e D (dust) para pós:

- 1G para zonas 0, 1, 2
- 2G para zonas 1, 2
- 3G para zonas 2
- 1D para zonas 20, 21, 22
- 2D para zonas 21, 22 (também para pós condutores elétricos)
- 3D para zonas 22

O fabricante deve fornecer uma declaração de conformidade em que ele garante a conformidade do equipamento com as normas válidas. Além disso, o fabricante deve fornecer instruções de operação em vernáculo. Um aspecto das instruções de operação é a descrição do uso pretendido. O novo aspecto é a descrição de toda informação de segurança necessária (e.g., do certificado de exame

típico) e de todos os detalhes relativos ao uso seguro do equipamento. O operador do equipamento deve observar estas instruções de operação na totalidade, senão o equipamento perde sua aprovação.

5.1. Equipamento para Zona 0

De acordo com a Diretiva 94/9/EC, o equipamento instalado na Zona 0 deve ser classificado como Categoria 1G.

Além da segurança intrínseca Ex-ia, outras medidas tais como encapsulamento especial Ex-ma ou isolação mecânica como especificada na EN 50 284 são permitidas. De acordo com a Diretiva, este equipamento deve ter sido sujeito a um procedimento de atribuição de conformidade.

5.2 Equipamento para Zona 1

Equipamento elétrico instalado na Zona 1 deve ser classificado como Categoria 1G ou 2G. Categoria 2G inclui os seguintes tipos de proteção:

- Invólucro à prova de chama, Ex-d
- Invólucro pressurizado, Ex-p
- Enchimento de areia, Ex-q
- Imersão em óleo, Ex-o
- Segurança aumentada, Ex-e
- Segurança intrínseca, Ex-ia e Ex-ib
- Encapsulamento, Ex-m

5.2 Equipamento para Zona 2

Equipamento instalado em Zona 2 deve ser classificado como Categoria 1G, 1G ou 3G. A Categoria 3G inclui equipamento projetado e construído especialmente para Zona 2.

- Equipamento não faiscador Ex-nA (maquinas rotativas, fusíveis, luminárias, instrumentos de medição e equipamento de baixa energia)
- Equipamento Ex-nC produzindo arcos, faíscas e superfícies quentes em operação (chaveadores fechados, componentes não acendíveis, equipamento hermeticamente fechado).
- Invólucro com respiração restrita Ex-nR
- Equipamento e circuitos Ex-nL com energia limitada
- Pressurização simplificada, Ex-nP

Além da certificação de segurança dos produtos,

Deve haver a garantia de qualidade da fabricação do produto

As exigências de todas as normas aplicáveis e os códigos de prática reconhecidos e interpretados sejam conhecidas e satisfeitas

O acesso a toda informação requerida para executar o estabelecido seja garantido

Certos testes do equipamento e métodos de teste sejam usados e sejam equivalentes aos empregados pelos laboratórios de atribuição de conformidade.

Equipamento que não pode ser atribuída uma classe de temperatura é selecionado de modo que sua máxima temperatura de superfície não atinja a temperatura de qualquer gás ou vapor que possa estar presente.

Examplo: EEx de IIC 340°C (T1)

Fig. 9.4. Marcação de instrumento Ex-de

6. Exigências fundamentais de instalação

6.1. Proteção contra contato

Medidas protetoras contra o contato direto são já requeridas na norma VDE 0100. Com proteção contra explosão, o objetivo da proteção é evitar, sempre que possível, qualquer formação de faísca como o resultado de contato com partes energizadas expostas (com exceção de partes intrinsecamente seguras). Outras normas que tratam de proteção contra contato indireto são: VDE 0165 e EN 60 079-14.

6.2. Equalização de potencial

De acordo com a VDE 0165 e EN 60 079-14, a equalização de potencial é requerida para evitar faíscas perigosas dentro da atmosfera potencialmente explosiva. Assim, qualquer

parte condutora, que esteja associada com a construção ou instalação e com a fase potencial, deve ser incorporada a equalização do potencial.

Exemplos de equalização de potencial:

1. Tubulações isoladas (não condutoras) via compensadores
2. Selos isolados
3. Não precisam ser incorporadas:
4. Estruturas de janela condutoras
5. Estruturas de porta condutoras

Não é necessário conectar invólucros à equalização potencial, desde que, por meio de fixação, eles tem contato confiável com as partes da instalação que, por sua vez, são incorporadas à equalização de potencial.

6.3. Instalações com proteção contra raios

Na norma VDE 0165 se faz referência à necessidade de proteção contra raios. Exigências individuais são encontradas também na VDE 0185. O objetivo da proteção formulada na EN 60 079-14 diz que os efeitos do raio devem ser reduzidos a grau inofensivo.

6.4. Cargas eletrostáticas

As normas de instalação formulam somente os seguintes objetivos de proteção contra cargas estáticas: as instalações elétricas devem ser instaladas de modo que o perigo resultante de cargas eletrostáticas não exista.

Cargas eletrostáticas são o resultado de processos de separação envolvendo, no mínimo, uma substância carregável.
A descarga de partículas carregadas de materiais não condutores (e.g., plástico) é usualmente o resultado de grandes descargas que podem provocar ignição.

Em zona 0, descargas capazes de provocar ignição devem ser excluídas, também considerando raras falhas de operação.

Em zona 1, descargas capazes de provocar ignição não devem ser esperadas em plantas que operem corretamente e no evento de falhas operacionais, devem ser consideradas. Medidas contra descargas são necessárias em zona 2 se eles ocorrerem freqüentemente. Uma resistência de descarga de $10^6\ \Omega$ é considerada suficiente eletrostaticamente.

No caso de equipamento certificado, é seguro assumir que uma carga eletrostática é adequadamente evitada. O instalador é responsável pela instalação de outras partes da planta.

7. Manutenção da instalação

O período da manutenção deve ser determinado considerando:

1. tipos de equipamento elétrico
2. tipo da proteção contra explosão
3. sistemas de fiação
4. condições de operação
5. condições ambientais
6. registros históricos

7.1. Tipos de manutenção

Manutenção diária

A manutenção diária é o trabalho feito diariamente no equipamento elétrico e a ênfase é colocada nas inspeções.

Manutenção periódica

A manutenção periódica é o trabalho feito a períodos regulares e programados, no equipamento elétrico e a ênfase é colocada no recondicionamento e reparos.

Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é o trabalho feito nem diariamente e nem periodicamente, mas quando solicitado pelo usuário, no equipamento elétrico e o trabalho é similar ao feito na manutenção diária e periódica.

Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é aquela baseada no resultado de um sistema de monitoração. Geralmente é associada à manutenção periódica. Ou seja, programa-se a parada periódica para determinada data, porém, o prazo pode ser estendido ou diminuído em função de um sistema de monitoração contínua aplicado ao sistema que se pretende fazer manutenção.

Atualmente a instrumentação inteligente, a base de microprocessador torna possível o diagnóstico automático do sistema, orientando e fornecendo dados essenciais à manutenção preditiva.

7.2. Fundamentos da manutenção

A manutenção do equipamento elétrico deve ser feita na base dos seguintes fundamentos e iniciativas do usuário:

1. considerar não apenas os aspectos específicos da proteção contra explosão, mas também o desempenho do equipamento elétrico, assim cumprindo os objetivos da manutenção na totalidade e balanceando a manutenção individual do

equipamento elétrico com o gerenciamento da manutenção global da planta.
2. conduzir a manutenção de acordo com um plano bem programado, por tipo de equipamento e proteção contra explosão, métodos de fiação e ambiente.
3. fazer a manutenção com pessoas que tenham o conhecimento e habilidades necessários do equipamento elétrico envolvido.
4. entender que há certo limite além do qual a manutenção não consegue mais garantir a propriedade de proteção contra explosão e, neste caso, o equipamento elétrico deve ser substituído por outro, de modo conveniente.

7.3. Inspeção

Há três níveis diferentes de trabalho de manutenção e inspeção:

1. Inspeção visual do equipamento fechado
2. Inspeção visual do equipamento aberto
3. Verificação detalhada do equipamento aberto

A experiência tem mostrado que inspeções periódicas são extremamente importantes. Uma inspeção visual pode, por exemplo, cobrir a caixa de junção e sua entrada de cabo, as botoeiras e as janelas. Pequenos defeitos ou caixas de junção abertas podem geralmente prejudicar o grau de proteção da instalação. Além das inspeções “oficiais”, inspeções adicionais podem ser feitas pelo operador da planta ou pela fabricante. Todas as verificações devem ser registradas.

Chaves automáticas e dispositivos de proteção, tais como chaves de temperatura, pressão, nível e vazão, devem ser testados quanto a operação em intervalos regulares.

Quando se fizer testes de isolação por meio de geradores acionados a mão (meggers), instrumentos de alta tensão ou medidores de isolação, é essencial obter uma permissão para executar o trabalho e uma permissão a quente. Refletômetros de pulso podem ser usados para localizar falhas (falhas de terra ou circuitos abertos) em cabos aquecidos. A localização da falha pode ser determinada dentro de um medidor ou na base das características de velocidade de propagação de pulso do cabo.

Desconexão

Antes de qualquer invólucro ser aberto em uma área perigosa, a parte relevante da instalação deve ser chaveada para o estado desenergizada. Um dispositivo conveniente deve ser fornecido para tornar impossível uma energização acidental ou não intencional. Normalmente, uma permissão escrita do operador da planta é necessária para o trabalho de manutenção neste tipo de instalação.

Religamento

Sempre que uma instalação é desligada para o objetivo de se fazer o trabalho de manutenção, é essencial garantir que o seu religamento não intencional se torne absolutamente impossível. O método recomendado é prover chaves de segurança que sejam bloqueadas pelo pessoal de manutenção por uma tranca em forma de U (*padlock*).

Instrumentação Ex

Quando são feitas medições em áreas perigosas, é importante garantir que os instrumentos de medição tenham proteção contra explosão. Para o uso de instrumentos de medição normais, uma permissão de trabalho deve ser obtida do operador da planta. Medições especiais, por exemplo, as que envolvem instrumentos de alta tensão e testadores de isolação, podem, em conexão e desconexão da tensão medida, gerar faíscas que possuem energia suficiente para provocar a ignição das misturas explosivas. Estas mesmas condições se aplicam às calculadoras eletrônicas se elas possuírem baterias suficientemente grandes. Em certos casos, calculadoras eletrônicas são permitidas na zona 2.

7.4. Parâmetros da manutenção

Documentação necessária

Os documentos necessários para manutenção devem ser selecionados dos seguintes:

1. Desenhos mostrando os limites das áreas perigosas.
2. Diagramas de fiação
3. Desenhos mostrando locais e combinações de equipamento elétrico
4. Desenhos mostrando tamanhos de equipamento elétrico individual
5. Referencias de dispositivos de proteção dos equipamentos elétricos
6. Referencias de peças de reposição
7. Manuais de instrução dos equipamentos elétricos
8. Resultados de testes de equipamentos elétricos
9. Registros de informação da manutenção do equipamento elétrico.

Qualificação do pessoal de manutenção

O pessoal de manutenção deve ter o conhecimento e as habilidades relacionadas com:

1. Princípios e desempenhos de equipamento elétrico protegido contra explosão
2. Conhecimento técnico da fiação de proteção contra explosão
3. Procedimentos e técnicas para operar, tratar, desmontar e montar equipamento elétrico
4. Precauções para a prática da manutenção
5. Itens e métodos de manutenção
6. Diretivas, regras, normas e leis.

Manutenção no equipamento energizado

1. A manutenção diária deve ser feita nas condições energizadas, quando sua ênfase é colocada nas inspeções.
2. As manutenções periódicas e corretivas devem ser feitas em condições desenergizadas, quando sua ênfase é colocada nos reparos e recondicionamentos. Porém, nestes casos, a manutenção pode ser feita na condição energizada.
3. Não houver perigo da instalação elétrica se tornar uma fonte de ignição
4. Não houver perigo de a atmosfera perigosa estar presente no local da manutenção

Neste caso, o local é designado temporariamente como área não perigosa.

7.5. Implementação da manutenção

Embora os detalhes da implementação da manutenção sejam diferentes para diferentes tipos de equipamentos elétricos, dependendo do tipo da proteção contra explosão, algumas práticas comuns devem ser seguidas, como:

Antes da manutenção

1. Tornar claro os objetivos da manutenção
2. Preparar ferramentas, materiais, peças de reposição
3. Ver a necessidade de desligar a alimentação elétrica
4. Ver a possibilidade de ocorrência da atmosfera perigosa, para designar o local como *área não perigosa*
5. Rever o conhecimento e habilidades do executante da manutenção.

Durante a manutenção

1. Durante a inspeção em condições energizadas, o invólucro principal, caixa terminal ou janelas transparentes do equipamento elétrico não podem ser abertas, exceto no caso de equipamento intrinsecamente seguro.
2. É desejável que o reparo e o recondicionamento do equipamento elétrico seja feito em áreas não perigosas, depois de ser transferido do local perigoso.
3. Quando a manutenção é feita na área perigosa, tomar cuidado para não produzir faísca mecânica.
4. Quando o recondicionamento e reparo envolverem desmontagem e montagem de peças de equipamento elétrico que garante a proteção contra explosão, a implementação desta manutenção deve ser cuidadosamente feita, de modo que não apenas estas peças, mas todas as outras que estão relacionadas com a proteção, não sejam trocadas durante a manutenção.

Depois da manutenção

1. Garantir que a proteção contra explosão tenha sido restabelecida em cada aspecto do equipamento elétrico como um todo.
2. Confirmação deve ser feita com relação aos itens importantes.

Manutenção do ambiente de contorno

Diariamente, periodicamente ou temporariamente, deve ser feita a manutenção do ambiente de contorno ligado a pó, gás corrosivo, temperatura, umidade e tudo que afeta as propriedades de proteção contra explosão das instalações elétricas.

A Tab. 1. sumariza os itens de inspeção que devem ser considerados.

7.6. Manutenção de equipamento Ex-d

Preservação das propriedades

A proteção contra explosão a prova de explosão ou de chama é garantida pela aderência de cada item da norma correspondente.

A Tab. 2. sumariza os itens de inspeção que devem ser considerados durante a manutenção, com relação a resistência mecânica do invólucro, espaçamentos das superfícies de junção, aumento da temperatura das superfícies do invólucro.

Itens para manter a proteção de prova de explosão

Para restabelecer a propriedade de proteção de prova de explosão ou chama, devem ser confirmados os seguintes itens:

1. Não pode haver nenhum dano nas superfícies de junção do invólucro
2. Com relação ao espaçamento e comprimento do caminho de resfriamento, os valores relevantes devem ser restabelecidos para garantir a proteção de prova de chama
3. Não deve haver nenhum dano nas superfícies externas ou partes transparentes do invólucro
4. O aperto dos parafusos deve ser feito de modo uniforme e apropriado, preferivelmente com torquímetro e nunca apenas com a mão.
5. Superfícies metálicas relacionadas com a propriedade de prova de chama não podem estar enferrujadas e devem ser tratadas com métodos resistentes a ferrugem.

7.7. Manutenção de equipamento Ex-p

Preservação das propriedades

A proteção contra explosão com pressurização ou purga é garantida pela aderência de cada item da norma correspondente.

A Tab. 3. sumariza os itens de inspeção que devem ser considerados durante a manutenção preventiva, diária e temporária, com relação a construção do invólucro que pode afetar a manutenção da pressão, dispositivos relacionados com o invólucro, aumento da temperatura das superfícies externas do invólucro.

Itens para manter a proteção de pressurização

Para restabelecer a propriedade de proteção de pressurização ou purga, devem ser confirmados os seguintes itens:

1. Gaxetas e buchas devem ser fixadas em porções relevantes e não devem ter nenhum dano, ruptura, distorção ou deterioração
2. Todo equipamento elétrico dentro do invólucro deve ser o especificado e deve ser montado como especificado
3. Dispositivos de proteção, estrutura dos dutos de ventilação, válvulas e dampers devem ser os especificados
4. O aperto dos parafusos deve ser feito de modo uniforme e apropriado
5. Equipamento que fornece o gás protetor deve operar corretamente como o especificado
6. Dispositivos de proteção devem ser testados para confirmar seu desempenho

7.8. Manutenção de equipamento Ex-e

Preservação das propriedades

A proteção contra explosão com segurança aumentada é garantida pela aderência de cada item da norma correspondente.

A Tab. 4. sumariza os itens de inspeção que devem ser considerados durante a manutenção preventiva, diária e temporária, com relação às partes que garantem a segurança, bem como garantindo a operação normal.

Itens para manter a proteção de segurança aumentada

Para restabelecer a propriedade de proteção de segurança aumentada, devem ser confirmados os seguintes itens:

1. Valores das medições de aumento de temperatura de todas as partes relevantes devem ser menores que os valores especificados
2. Espaçamentos entre componentes no ar e no circuito devem ser iguais a valores especificados e função das tensões
3. O aperto dos parafusos deve ser uniforme e conveniente
4. Os dispositivos de proteção devem operar em valores especificados

As porções de ligação, principalmente, devem ser evitadas de ferrugem, aplicando-se tratamento anti-ferrugem 8. Manutenção de equipamento elétrico com segurança intrínseca

Tab. 1. Itens de inspeção de ambiente

Item de inspeção	Medida da inspeção	Conteúdo da inspeção	Observações
Temperatura ambiente	Táctil, termômetro	Não pode exceder limites predeterminados	
Respingo de água, umidade	Visual, táctil	Não pode estar molhado Não pode entrar água	
Pó	Visual	Não pode acumular pó Não pode estar contaminado	
Atmosfera: gás corrosivo	Visual, olfato	Sem vazamento	Verificar com detector, se necessário
Atmosfera: gás explosivo	Visual, olfato	Sem vazamento	Verificar com detector, se necessário
Vibração	Visual, táctil	Sem vibração exagerada	

Tab. 2. Itens de inspeção de equipamento elétrico à prova de explosão ou chama

Item de inspeção	Medida da inspeção	Conteúdo da inspeção	Observações
Invólucro	Visual	Sem ferrugem Sem dano	Limpeza Tratamento anti-ferrugem
Janelas transparentes	Visual	Sem danos	Substituição
Superfícies de junção	Visual	Sem rugosidade devida a danos, ferrugem, arranhão	Limpar
Aperto dos parafusos	Visual, táctil	Apertado, sem depósito de pó e sem ferrugem	Reaperto e limpeza
Gaxetas e buchas	Visual	Sem quebra Sem deformação adversa	Substituição
Mancais	Visual	Sem vazamento Sem deterioração da graxa	Substituição da graxa
Porção dos condutores	Visual	Sem danos Sem deterioração	Substituição
Porção dos condutores flexíveis	Visual, táctil	Sem danos Sem deterioração Sem desaperto	Substituição e reaperto
Terminais	Visual, táctil	Sem desaperto do conector Sem sujeira no material isolante	Reaperto e limpeza
Terminais de terra	Visual, táctil	Sem desaperto do conector Sem dano	Substituição e reaperto
Aumento da temperatura da superfície do invólucro	Termômetro, táctil	Deve ser menor que o valor especificado	Investigação da causa

Tab. 3. Itens de inspeção de equipamento elétrico pressurizado ou purgado

Item de inspeção	**Medida da inspeção**	**Conteúdo da inspeção**	**Observações**
Invólucro	Visual	Sem ferrugem Sem dano	Limpeza Tratamento anti-ferrugem
Janelas transparentes	Visual	Sem danos	Substituição
Aperto dos parafusos	Visual, táctil	Apertado, sem depósito de pó e sem ferrugem	Reaperto e limpeza
Gaxetas e buchas	Visual	Sem quebra Sem deformação adversa	Substituição
Dutos de ventilação para o gás	Visual, táctil	Sem vazamento considerável	Revisão da causa
Pressão e volume da vazão	Manômetro ou medidor de vazão	Devem ser convenientes para valores especificados	Revisão da causa
Dispositivos de proteção	Teste de desempenho	Para operar em valores ajustados especificados	Ajuste
Filtro na entrada	Visual	Sem entupimento apreciável	Limpeza e substituição
Porção dos condutores	Visual	Sem deterioração e danos	Substituição
Terminais	Visual, táctil	Sem desaperto do conector Sem sujeira no material isolante	Reaperto e limpeza
Terminais de terra	Visual, táctil	Sem desaperto do conector Sem dano	Substituição e reaperto
Aumento da temperatura da superfície do invólucro e dutos de ventilação e exaustão	Termômetro, táctil	Deve ser menor que o valor especificado	Investigação da causa

Tab. 4. Itens de inspeção de equipamento elétrico com segurança aumentada

Item de inspeção	**Medida da inspeção**	**Conteúdo da inspeção**	**Observações**
Invólucro	Visual	Sem ferrugem e sem dano	Limpeza Tratamento anti-ferrugem
Janelas transparentes	Visual	Sem danos	Substituição
Aperto dos parafusos	Visual, táctil	Apertado, sem depósito de pó e sem ferrugem	Reaperto e limpeza
Gaxetas e buchas	Visual	Sem quebra Sem deformação adversa	Substituição
Mancais	Visual	Sem vazamento Sem deterioração da graxa	Substituição da graxa
Porção dos condutores	Visual	Sem danos Sem deterioração	Substituição
Porção dos condutores flexíveis	Visual, táctil	Sem danos Sem deterioração Sem desaperto	Substituição e reaperto
Porção de conexão	Visual, táctil	Sem desaperto e sem sujeira no material isolante	Reaperto e limpeza
Isoladores	Visual	Sem sujeira, sem deterioração e sem descoloração	Limpeza e substituição
Terminais de terra	Visual, táctil	Sem desaperto do conector Sem dano	Substituição e reaperto
Aumento da temperatura das peças onde o gás explosivo pode ter acesso	Termômetro, táctil	Deve ser menor que o valor especificado	Investigação da causa
Dispositivo de proteção contra sobrecarga	Teste de desempenho	Deve operar normalmente	Substituição
Tensão, corrente e freqüência	Checks por medidores	Deve ter valores especificados	Investigação da causa

Tab. 5. Itens de inspeção de equipamento elétrico com segurança intrínseca

Item de inspeção	Medida da inspeção	Conteúdo da inspeção	Observações
Combinação de equipamento intrinsecamente seguro (IS) e associado	Visual	A combinação de equipamento IS e associado deve estar de conformidade com a especificação	Retirar a equipamento não aprovado que não esteja especificado em documento relevante
Marcação	Visual	A marcação deve ser lida facilmente	Limpeza e substituição
Partes de ligação de peças com corrente	Visual, táctil	As partes de ligações externas devem estar apertadas, sem sujeira no material isolante	Reaperto e limpeza
Invólucro	Visual	Sem ferrugem Sem dano	Limpeza Tratamento anti-ferrugem
Verificação do desempenho (*)	Medições por instrumentos	Para funcionar normalmente na tensão especificada	
Tensão de circuito aberto através de terminais do circuito IS (*)	Medições por instrumentos	Para medir a tensão de circuito aberto através dos terminais de circuitos IS quando a tensão especificada é aplicada através dos terminais de circuito não IS	Aplicado somente em equipamento associado
Corrente de curto circuito em terminais do circuito IS (*)	Medições por instrumentos	Para medir a corrente de curto circuito em terminais de circuitos IS quando a tensão especificada é aplicada através dos terminais de circuito não IS	Aplicado somente em equipamento associado
Isolação (teste dielétrico) (*)	Medições por instrumentos	Para testar a isolação entre terminais IS e não IS Para testar a isolação entre terminais IS e terminais de terra	

Manutenção marcada com (*) deve ser feita de acordo com instruções e manuais publicadas pelo fabricante.

Tab. 6. Itens de inspeção da fiação elétrica

Item de inspeção				Medida da inspeção	Conteúdo da inspeção
Fiação em conduíte metálico	Resistência de isolação dos condutores isolados			Ler com instrumentos	Devem estar acima dos valores especificados
	Conduítes metálicos	Visão externa dos conduítes metálicos		Visual, táctil	Sem dano, sem corrosão e sem falha na pintura
		Estado de aperto da junções rosqueadas		Visual	Sem quebra, sem folga e sem corrosão
		Visão externa das conexões de selagem		Visual	Sem danos
		Visão externa das conexões de dreno		Visual	Sem água
		Visão externa das conexões flexíveis		Visual	Sem danos, sem corrosão, sem falha na pintura, sem torção. Ter um raio de curvatura apropriado
		Visão externa dos suportes metálicos		Visual, táctil	Sem danos, sem corrosão e sem folga
Fiação por cabo	Cabos	Visão externa dos cabos		Visual, táctil	Sem danos, sem endurecimento, sem encharcamento
		Resistência de isolação		Ler com instrumento	Devem estar acima dos valores especificados
	Visão externa das tubulações de proteção			Visual e táctil	Sem dano, sem corrosão e sem falha na pintura
	Dutos, buracos, furos	Visão externa de dutos, armários		Visual e táctil	Sem danos, sem corrosão, sem desaperto e sem falhas na pintura. Sem quebra no duto, sem objetos estranhos no duto
		Visão externa dos suportes metálicos		Visual e táctil	Sem danos, sem corrosão, sem falha na pintura
		Estado dos buracos		Visual	Sem danos, sem quebras das bordas, sem ingresso de água, óleo ou solvente
		Estado dos selos		Visual	Sem cavidade no composto de enchimento
Fiação de circuitos IS		Estado das blindagens aterradas		Visual	Sem anormalidade nas blindagens
		Identificação do equipamento e fiação		Visual	Devem ser identificáveis
		Estado da segregação		Visual	Sem contatos e sem mistura. Sem normalidade de separação e barreiras de isolação
Condutores de terra		Visão externa dos condutores de terra		Visual e táctil	Sem danos, sem corrosão e sem desaperto
		Resistência de terra		Ler com instrumentos	Sem contatos e intermitências.
Caixas de conexão e passagem		Visão externa caixas de conexão		Visual e táctil	Sem danos, sem corrosão e sem desaperto Sem ingresso de água e sem falhas na pintura
		Estado das porções de conexão		Visual e táctil	Sem desaperto e com tomadas normais
		Estado das porções dos fios condutores		Visual e táctil	Devem estar em condições normais
Posição e vista externa da indicação de cabos queimados, condutores de terra				Visual	Devem estar em posição e estado normais

7.9. Manutenção de equipamento Ex-i

Preservação das propriedades

A proteção contra explosão com segurança intrínseca é garantida pela aderência de cada item da norma correspondente.

A propriedade de segurança intrínseca é estabelecida com base na construção mecânica e física do equipamento e também das características elétricas de circuitos e componentes usados na área segura e na área perigosa.

A Tab. 5. sumariza os itens de inspeção que devem ser considerados durante a manutenção preventiva, diária e temporária, de equipamentos intrinsecamente seguros.

Precauções durante manutenção

Equipamentos intrinsecamente seguro (IS) e associado podem ter seus invólucros abertos para inspeção das partes internas em condições energizadas. Porém, há limites praticáveis quanto aos itens de inspeção, medidas da inspeção e conteúdo da inspeção.

Devem ser tomadas as seguintes precauções:

Equipamento IS

1. Quando a manutenção do equipamento IS é feito usando equipamentos elétricos em uma área perigosa, os equipamentos em si devem ser IS. Se o dispositivo será ligado ao equipamento elétrico a ser mantido, é necessário que a combinação não afete a segurança intrínseca do sistema inteiro.
2. Quando a inspeção é feita de peças e fiações dentro do invólucro em uma área perigosa, é desejável inspecionar somente visualmente ou limitar a uma extensão de ajustes. Reparos que precisam ser feitos em peças devem ser feitos em áreas não perigosas.

Equipamento associado

3. Quando a manutenção do equipamento associado é feita em uma área não perigosa, a fiação externa relevante para o equipamento IS na área perigosa deve ser desligada do equipamento associado, exceto no caso de inspeção visual.
4. Quando a manutenção do equipamento associado é feita em uma área perigosa, os métodos de manutenção aplicados a outros tipos de proteção contra explosão devem ser observados, quando apropriado, alem do item acima (3).
5. No caso do equipamento associado estar localizado em uma área não perigosa, os resistores variáveis ou parafusos ajustáveis do equipamento, que são operados do lado de fora do invólucro podem ser variados ou ajustados em condição energizada, sem desligar os fios do circuito IS que vão para as áreas perigosas.

Substituição de peças e componentes

6. Qualquer peça e unidade do equipamento IS e associado devem ser substituídas por peças que tenham as mesmas especificações elétricas e mecânicas sugeridas pelo fabricante
7. Substituição ou carga de baterias contendo equipamento IS deve ser feita fora da área perigosa.

Itens para manter a proteção de segurança intrínseca

O restabelecimento da propriedade de proteção contra explosão intrinsecamente segura deve ser confirmado com relação aos seguintes itens:

1. Os equipamentos IS e seguro são restabelecidos por suas especificações.
2. A isolação do equipamento IS e associado é satisfeita com os valores especificados
3. Ligações da fiação externa entre equipamento IS e associado são feitas como especificado.

Cabos e condutores

Em circuitos intrinsecamente seguros, somente cabos, condutores e equipamentos podem ser instalados cuja tensão de teste seja, no mínimo, 500 V ca. A prática atual é usar cabos azuis, blindados, (marcados como circuitos intrinsecamente seguros [RAL 5012]). Mesmo se blindados, estes cabos são preferivelmente lançados e arranjados de modo organizado e separado dos outros cabos não intrinsecamente seguros.

A marcação para denotar circuitos intrinsecamente seguros é feita ou com cor ou com inscrição indelével. Se houver perigo de misturar circuitos intrinsecamente seguros e circuitos não intrinsecamente seguros, por exemplo, por causa da cor azul do neutro, o método de marcação deve ser adaptado de acordo. Para verificação, as características elétricas, tais como indutância, capacitância, devem ser conhecidas.

A blindagem do cabo deve ser ligado ao terra ou ao condutor que liga ao equipotencial

como estabelecido no manual de instrução. O condutor terra deve ter uma secção transversal mínima de 4 mm^2. Em muitos casos, é recomendável uma secção transversal maior.

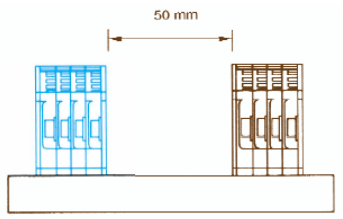


Fig. 9.5. Separação de fiação IS (azul) e não IS

Separação espacial das conexões intrinsecamente seguras

Em instalações elétricas intrinsecamente seguras, seus terminais devem ser separados de modo confiável dos terminais de circuitos não intrinsecamente seguros por um painel separador ou um espaçamento de, no mínimo, 50 mm. Normalmente os terminais de circuitos intrinsecamente seguros são de cor azul claro.

Verificação da segurança intrínseca

A não ser que um certificado do sistema seja disponível para definir os parâmetros para todo o circuito intrinsecamente seguro, a verificação deve ser preparada para inclusão na documentação de instalação. Esta verificação garante que o comprimento do condutor entre o equipamento associado e o intrinsecamente seguro, não seja excedida e a energia fornecida ao equipamento intrinsecamente seguro esteja dentro dos níveis especificados pelo laboratório de certificação.

7.10. Manutenção da fiação elétrica

Preservação de propriedades de fiação elétrica com proteção contra explosão

Como a instalação da fiação elétrica é feita de acordo com normas, a manutenção deve ser feita com o pleno conhecimento destas exigências.

Implementação da manutenção da fiação

A manutenção da fiação elétrica deve ser feita especificamente como segue:

1. A fiação elétrica é instalada e corre em vários locais de uma planta e por isso existem diferentes condições ambientais que podem afetar a fiação, mesmo quando as especificações da fiação sejam iguais.
2. As condições ambientais podem se alterar devido a modificações e reconstrução de novas unidades.
3. Quando a fiação é vulnerável às condições ambientais, é importante ter uma manutenção visual diária.

Itens da inspeção

Os itens da inspeção diária ou periódica da fiação elétrica são listados na Tab. 6 e se relacionam principalmente com fiações de segurança intrínseca. Não há discriminação entre manutenção diária ou periódica.

7.11. Cabos e condutores

Cabos e condutores devem ser instalados de modo que eles sejam protegidos contra influencias mecânicas e químicas. São importantes especialmente a resistência aos solventes e os efeitos do calor nas aplicações particulares.

Dutos e tubulações portando cabos e condutores devem ser lançados de modo que nenhum gás, vapor ou liquido possa ser coletado neles. Se eles estão passando através de vários espaços (ou zonas), os pontos de transição devem ser selados adequadamente. Devem ser usados engaxetamentos e selos de areia especialmente projetados. Cabos e fios atravessando uma área perigosa enquanto indo de uma área não perigosa para outra, devem satisfazer as exigências para áreas perigosas.

A bainha metálica dos cabos deve ser protegida contra corrosão com um revestimento externo e nunca deve entrar em contato fortuito com outro equipamento. Uma exceção a isto é o aquecimento com injeção (*trace heating*) onde a bainha metálica externa é instalada em contato com a tubulação. Aberturas e entradas de cabos não usadas em equipamento elétrico devem ser seladas com plugues adequadas e aprovados.

Dentro dos gabinetes de controle e no interior da armários de chaves e distribuição, medidas especiais devem ser tomadas onde há um risco de confusão da fiação de circuitos intrinsecamente seguros com a de circuitos não intrinsecamente seguros – por exemplo, onde há um fio neutro colorido de azul.

Conexões

Cabos que passam em áreas perigosas não devem ter emendas, sempre que possível. Quando a descontinuidade não pode ser evitada, os pontos de emenda devem satisfazer um tipo padronizado de proteção para a zona em questão, e.g., uma caixa termina em segurança aumentada em uma Zona 1.

Se forem usados condutores flexíveis multicabo, eles devem ser providos de núcleo e luvas para evitar a separação dos fios individuais. Em qualquer caso, é importante manter as distâncias prescritas nos circuitos (creepage) e no ar (clearance).

Mínima secção transversal

Por razões mecânicas, devem ser observadas as seguintes secções transversais mínimas:

Secção transversal mínima para condutor com único núcleo

1. 1 mm^2 para cabos multicondutores
2. 1,5 mm^2 para condutores com único fio

Secção transversal mínima para cabos multicondutores com menos de 5 núcleos (3L + N + NE)

1. 0,75 mm^2 para cabos multicondutores
2. 1 mm^2 para condutores com único fio

Secção transversal mínima para cabos multicondutores com mais de 5 núcleos

1. 0,5 mm^2 para cabos multicondutores
2. 1 mm^2 para condutores com único fio

Cabos e condutores através de Zona 0

Em Zona 0, somente cabos e condutores que operam equipamento Categoria 1G podem passar.

Cabos para equipamentos portáteis e transportáveis

Equipamentos elétricos portáteis e transportáveis com tensões especificadas de até 750 V devem ter cabos com uma bainha de borracha ou cabos PUR convenientes.

Segmentação de fogo de cabos

Aberturas de parede para cabos e condutores para áreas não perigosas devem ser selados para vedar, por exemplo, com buchas aparafusadas, selos de areia, selos de argamassa ou compostos especiais de encapsulamento. Onde cabos e condutores atravessam zonas perigosas em uma longa distância, eles devem ser divididos em segmentos individualmente protegidos contra fogo na área perigosa.

7.12. Sistemas de conduíte

A norma EN 60 079-14 permite o uso de sistemas de conduíte. Os conduítes devem ser equipados com conexões de selagem vedada. As seguintes regras devem ser observadas:

Conexões de selagem devem ser usadas onde os conduítes entram em ou saem de uma área perigosa.

Próximo de 450 mm de todos os invólucros contendo uma fonte de ignição em operação normal. Onde dois invólucros à prova de chama com fontes internas de ignição são ligados, as conexões de selagem evitam a propagação da frente da chama seguindo uma explosão no primeiro invólucro à prova de chama.

8. Proteção elétrica

O equipamento elétrico e a fiação devem ser protegidos contra sobrecarga e os efeitos nocivos de curtos-circuitos e falhas de terra.

Medicas de proteção especiais são requeridas no caso de maquinas elétricas rotativas. Os dispositivos de proteção de sobrecarga a serem usados são:

Dispositivo dependente da corrente e temporizado para as três fases, ajustado em valor maior que a corrente especificada da maquina. O dispositivo deve desligar dentro de 2 horas em 1,2 vez a corrente ajustada mas não deve desligar dentro de 2 horas em 1,05 vez a corrente ajustada.

Sensores de temperatura embutidos fornecendo uma monitoração direta da temperatura da maquina.

Em nenhum caso o desligamento automático deve resultar em um aumento do risco de segurança. Onde isso poderia acontecer, o alarme é uma alternativa aceitável para desligar automaticamente se o alarme levar para uma ação corretiva imediata.

8.1. Fusível do equipamento

O fusível do equipamento deve considerar a corrente especificada do consumidor em condição de regime permanente e sua característica de atuação em relação à corrente de partida. Em casos de dúvida, a corrente especificada deve ser medida.

Válvulas solenóides devem ser fusíveis individuais, de acordo com as instruções do fabricante (fusível do aparelho com 1,5 vez a corrente especificada)

9. Desligamento

9.1. Desligamento de emergência

Para os objetivos de emergência, em um ponto ou pontos convenientes fora da área perigosa, deve haver um ou vários meios de desligar a alimentação elétrica para a área perigosa (botão de parada de emergência).

Certos dispositivos não podem ser desligados e portanto devem ser excluídos do circuito de desligamento de emergência. Estes equipamentos podem ser computadores e consoles de controle (controle e instrumentação) servindo para observar e monitorar as leituras de aumento de pressão e de temperatura. Se, por exemplo, misturas de ar e gás estiverem presentes e puderem ser liberadas para a atmosfera somente depois de passar através de filtros exaustores de ar, elas não devem ser responsáveis para desligar o circuito de emergência, porque isto poderia criar um risco adicional para os locais vizinhos.

Conseqüentemente, os equipamentos elétricos que devem continuar a operar para evitar perigos adicionais não podem ser incluídos no circuito de desligamento de emergência e eles devem estar em um circuito separado.

9.2. Chave de segurança

Além das normas cobrindo o equipamento elétrico para áreas perigosas, os elementos de emergência para desligar direta ou indiretamente também devem satisfazer a norma EN 1037 (Segurança de Máquinas). Por exemplo, o invólucro não pode ser operável na posição “0”.

Manoplas de operação das chaves de segurança podem ter somente as cores amarela e vermelha, onde as chaves de desligamento de emergência operam simultaneamente. Para todas as outras chaves de desligamento, as manoplas devem ser pretas.

9.3. Chaveamento de dispositivos de segurança e monitoração

Os dispositivos de desligamento, proteção e monitoração - tais como desligamentos de sobrecorrente, limitadores de segurança de temperatura e chaves de pressão – devem desligar a respectiva parte da instalação em todas as fases e não devem ligá-las de volta automaticamente. Circuitos de religação não podem ser rearmados externamente e o rearme deve requerer o uso de uma ferramenta especial. Quando ligar de volta ou desativar um intertravamento, deve-se garantir que o dispositivo de proteção permanece operável. Nenhum desligamento deve levar para riscos maiores. As instalações devem ser projetadas de modo que o estado seguro resulte após o desligamento.

9.4. Desconexão de segurança

Para permitir trabalho na segurança de um equipamento elétrico, o dispositivo em questão deve ser desconectado da alimentação (inclusive do neutro) por meio de um circuito de desligamento direto ou indireto. Tanto o dispositivo em si e o circuito devem ser claramente marcados.

10. Reparo no equipamento Ex-

Como estabelecido pelas normas. o reparo de um equipamento elétrico com proteção contra explosão deve ser feito somente pelo fabricante. Esta regra pode ser suavizada em casos onde os reparos são feitos por pessoal instruído, especialmente treinado, competente e são usadas apenas peças reservas originais. Em nenhum caso é permissível fazer modificação ou retrabalho que prejudique as características essenciais à proteção contra explosão (tipo de proteção e classe de temperatura). Alteração na fiação é permitida, se feita por pessoal treinado.

O trabalho de alteração de fiação feito deve ser registrado apropriadamente. É proibido alterar os comprimentos dos espaçamentos dos invólucros à prova de chama por aplicação de tinta, ou outros revestimentos que poderiam atrapalhar a proteção de prova de chama e causar uma explosão incontrolada.

Perigos da Eletricidade

Objetivos

1. *Conceituar choque elétrico, suas principais causas e efeitos, apresentando os meios de proteção e os cuidados a serem tomados com a eletricidade.*
2. *Mostrar o aparecimento e os métodos para eliminação da eletricidade estática.*
3. *Apresentar o conceito de raio e os métodos de proteção.*

1. Introdução

Os perigos envolvendo a eletricidade e os equipamentos elétricos podem ser divididos em cinco categorias:

1. choque para pessoal
2. ignição e explosão de materiais combustíveis
3. superaquecimento com dano e queima de equipamentos
4. explosões elétricas
5. ligamento acidental de equipamentos.

2. Choque

2.1. Conceito

Choque elétrico é um estimulo repentino e acidental do sistema nervoso do corpo por uma corrente elétrica. A corrente flui através do corpo quando ele torna parte de um circuito elétrico que possui uma diferença de voltagem adequada. A voltagem através da resistência do corpo faz circular uma corrente através dele. O valor desta corrente dependerá do valor da diferença de voltagem e da resistência do corpo.

O corpo humano é também um equipamento elétrico. Os seus sistemas nervoso e muscular se baseiam em sinais elétricos e reações eletroquímicas. Porem, estes sinais envolvem níveis de energia extremamente baixos. Sinais elétricos externos facilmente perturbam o funcionamento correto do corpo humano. Corrente elétrica de 20 μA passando diretamente no coração pode causar fabricação e morte. (Para passar 20 μA através de uma resistência de 100 Ω do coração requer a voltagem de 2 mV e a potência de 0,04 μW.

De um modo grosseiro, o nível de perigo da eletricidade para o homem é algo menor que 1 W; para iniciar uma combustão de gás, 5 W e para incendiar materiais sólidos, cerca de 100 W.

2.2. Classes de Circuitos

O artigo 725 do NEC estabelece três tipos de circuitos elétricos relacionados com os perigos de choque e incêndio.

1. Um circuito de classe 1 tem um máximo de 30 V RMS e uma potência transferível de 2500 V-A. Por causa de sua potência, este circuito é perigoso para provocar incêndio, porem, por causa de sua baixa voltagem, ele não é considerado perigoso para choque. As regras prescritas para circuitos de potência geralmente se aplicam aos circuitos de Classe 1.
2. Um circuito de classe 2 tem um máximo de 30 V RMS ou 60 V cc, corrente máxima de 5 A e potência transferível de 100 V-A. Este circuito não é considerado perigoso para provocar incêndio e nem perigoso para choque. Não há regras especificas de instalação para estes circuitos, exceto que eles devem ser separados de outros circuitos. A maioria dos sistemas de instrumentação eletrônica operam dentro destes níveis e por isso não possuem perigo particular.
3. Um circuito de classe 3 tem um máximo de 150 V RMS , corrente máxima de 5 A e potência transferível de 100 V-A. Este circuito é considerado perigoso para provocar choque mas não é perigoso para incêndio. A isolação mínima da fiação é estabelecida para a fiação destes circuitos. Parte dos sistemas de instrumentação eletrônica cai nesta categoria, como os circuitos de alarme.

2.3. Efeitos

Os efeitos produzidos por uma corrente alternada de 60 Hz variam conforme o seguinte:

1. A corrente de 1 mA (0,001 A) produz um choque perceptível. O principal efeito é uma reflexo involuntário, que pode fazer a pessoa cair, perder o equilíbrio, bater a cabeça, resultando em algo mais grave que o choque em si.
2. A corrente de 5 a 25 mA (0,005 a 0,025 A) faz um adulto perder o controle muscular. A vitima pode se agarrar ao condutor, perdendo a capacidade de solta-lo.
3. A corrente de 25 a 75 mA (0,025 a 0,075 A) provoca dor. O contato prolongado pode produzir o colapso, inconsciência e morte, por causa da paralisia dos músculos respiratórios. A asfixia além de três minutos pode provocar a morte.
4. A corrente de 75 a 300 mA (0,075 a 0,300 A) com duração de um quarto de segundo ou mais pode ser quase imediatamente fatal, pois provoca fabricação ventricular. O ritmo do coração é perturbado e ele deixa de funcionar, a circulação para e há falta de oxigênio no cérebro. Neste aspecto, a corrente alternada é mais perigosa que a continua. O coração raramente se recupera sozinho da fabricação ventricular. Um contra choque violento e rápido pode parar a fabricação e restabelecer o ritmo normal do coração, desde que ele excite todas as fibras musculares ao mesmo tempo.
5. A corrente de 2,5 A ou maior: uma corrente deste valor para o coração enquanto estiver circulando. A pressão do sangue cai, quando a circulação para. O batimento do coração e a circulação do sangue usualmente retornam quando a corrente é cortada. Geralmente ocorre a inconsciência. Altas voltagens normalmente produzem paralisia respiratória. Correntes alternadas acima de 2,5 A produzem queimaduras na pele e em órgãos internos.

2.4. Outros Fatores

A intensidade e os efeitos do choque elétrico também dependem da trajetória da corrente, freqüência e duração. Correntes relativamente altas podem passar de uma perna para outra com apenas queimadura nos contatos. Uma corrente igual de um braço para outro ou do braço para a perna pode influenciar o coração ou paralisar os músculos respiratórios. Os efeitos de qualquer corrente variam com a freqüência. A corrente alternada é mais perigosa que é continua. Uma corrente deve ser de 3 a 5 vezes maior que a alternada para produzir os mesmos efeitos. Correntes com freqüências entre 20 e 100 Hz são as mais perigosas. A corrente de 60 Hz, que é a mais encontrada, é especialmente perigosa porque sua freqüência está próxima da freqüência mais favorável para a existência da fabricação ventricular. A fabricação é menos provável em freqüências acima de 100 Hz. A probabilidade da fabricação é inversamente proporcional à freqüência. As correntes de alta freqüência são menos perigosas, sob este ponto de vista, pois elas fluem na superfície e não no interior do condutor ou do corpo. Correntes com freqüências acima de 2000 Hz causam queimaduras severas porem produzem menos efeito interno.

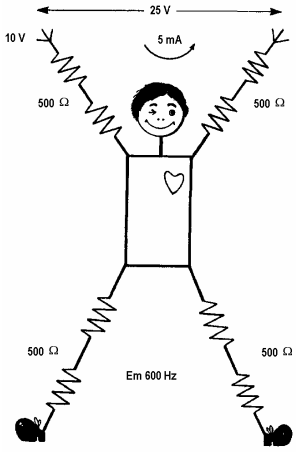


Fig. 10.1. Circuito equivalente possível do corpo humano

Pela lei de Ohm, a corrente que flui através de um corpo é inversamente proporcional à sua resistência. A resistência do corpo humano está contida quase inteiramente na pele. A pele consiste de duas camadas. A camada externa, composta de células escamosas e mortas, possui uma alta resistência ôhmica quando seca. Seca, limpa e sem ferimentos ela possui uma resistência elétrica de 100 a 600 KΩ . A resistência da pele molhada ou machucada cai para 500 Ω ou menos. Isto se deve ao fato que a corrente pode passar para a camada interna da pele, que tem menor resistência. A menor resistência da camada interna resulta dos fluidos do corpo, que são úmidos e condutores. A resistência da pele varia muito com as condições. Uma pessoa com a pele naturalmente seca possui uma resistência 10 vezes maior que a de uma pessoa com pele

úmida. A sujeira da pele aumenta a sua resistência.

A corrente que passa através do corpo depende também de outras resistências que ela encontra, incluindo a resistência interna dos tendões, músculos e sangue. A resistência interna do corpo é relativamente baixa, entre 300 e 500 Ω. A trajetória da corrente através do corpo modifica a severidade e o efeito do choque. Trajetórias através do coração e tórax são muito mais perigosas do que de uma perna para outra. As correntes através do coração, músculos do pulmão e do cérebro são as mais criticas.

Quando a pele está seca, a resistência é tão alta que pode ser adequada para proteger a pessoa contra choques médios. Mas raramente a pele está seca. Qualquer pessoa trabalhando está suando ou em uma atmosfera úmida. Por isso, sempre se pode assumir que o corpo humano está úmido e sua resistência é baixa e o efeito do choque elétrico é desastroso.

2.5. Causas de Choque

Os principais modos de uma pessoa levar um choque elétrico são:

1. contato com um condutor energizado sem isolação,
2. contato com um condutor energizado em que a isolação se deteriorou ou se danificou, perdendo seu valor protetor,
3. falha de equipamento que causa um curto-circuito ou um circuito aberto.
4. descarga de eletricidade estática,
5. descarga de um raio.

Os acidentes são freqüentes com pessoas eletrocutadas for falta de atenção ou cuidado próximas de condutores sem isolação. A causa mais comum é o contato com linhas elétricas energizadas sem isolação elétrica. Isto é muito freqüente em construção civil, quando as linhas de alimentação entram em contato com escadas ou peças metálicas.

Os cubículos que abrigam equipamentos e instalações de alta voltagem devem ser trancados. As chaves devem ficar com eletricistas qualificados e autorizados. Os painéis devem ser trancados ou ter intertravamento, de modo que a sua abertura desliga automaticamente a alimentação elétrica. É recomendável colocar blindagens adicionais em torno de condutores ou barramentos energizados para evitar o contato mesmo depois da abertura do invólucro. Deve-se colocar avisos no acesso da área perigosa e no equipamento para alertar o pessoal do perigo.

O trabalho em linhas energizadas é a causa mais comum de eletrocussão de pessoas. Quando este trabalho for absolutamente necessário, ele deve ser feito por pessoal qualificado consciente do perigo envolvido, equipado e protegido adequadamente.

Acidentes podem ocorrer quando um circuito é aberto e um eletricista começa a trabalhar nele. Outra pessoa, querendo usar uma parte do circuito e não sabendo que está havendo trabalho na linha, religa o circuito.

Os circuitos elétricos desligados para reparo, manutenção ou modificação devem ser bloqueados depois de desligados. A chave que liga o equipamento deve ser desenergizada e aberta. Deve-se colocar etiqueta de aviso na chave aberta que controla o circuito. O circuito só pode ser ligado através de uma chave ou uma combinação. A pessoa que irá fazer o serviço na linha deve ser a única com posse da chave ou combinação de religação. Se mais de uma pessoa é responsável pelo serviço, cada uma deve ter uma chave individual. O supervisor do trabalho pode ter também uma chave. Cada chave permanece no lugar até que o serviço seja terminado.

Circuitos com capacitores podem armazenar cargas elétricas com alto potencial. Quando a alimentação do sistema é desligada, o capacitor pode permanecer carregado, quando não estiver aterrado. Uma pessoa descuidada que toque o capacitor ou o circuito do qual o capacitor faz parte, pode levar um choque. Porem, embora pareça alta, a corrente envolvida é geralmente baixa. O choque provoca mais um susto do que dor ou ferimento. A descarga do capacitor ocorre somente uma vez e é não recarregável.

2.6. Falhas de Isolação Elétrica

As linhas de alimentação e os equipamentos devem ser isolados eletricamente. A isolação pode ficar defeituosa por causa da deterioração ou estrago e uma pessoa pode levar um choque. Há vários modos de deterioração ou perda da isolação elétrica:

1. os materiais não são uniformes e áreas localizadas podem ter diferentes isolações. O calor devido à perda de potência no condutor pode deteriorar ou tornar desigual a isolação,
2. os elétrons do condutor ou os quanta de energia da radiação externa podem destruir quimicamente a isolação,
3. calor e temperatura elevada devida à corrente elétrica causam uma diminuição gradual da resistência de alguns polímeros,

4. umidade altera as propriedades de absorção da isolação. A umidade oferece caminhos alternativos para a corrente através da isolação aumentando sua condutividade,
5. a oxidação devida ao oxigênio, ozone ou outros oxidantes diminui a resistência. O ozone, criado principalmente em materiais que provocam arcos voltaicos e descargas elétricas, é mais reativo e instável que o oxigênio,
6. a radiação ultravioleta e nuclear degradam as propriedades de isolação dos polímeros e borrachas,
7. a corrosão química, que é a incompatibilidade química dos produtos do processo com os materiais de isolação também causam a diminuição da isolação,
8. o desgaste físico, provocado pela abrasão, flexão, curvatura e corte, diminui a isolação dos cabos, principalmente de ferramentas e instrumentos elétricos portáteis. A vibração é uma causa freqüente do estrago por abrasão. A dobra ou compressão de cabos pode danificar a sua isolação,
9. fatores biológicos, como fungos, roedores e insetos podem comer literalmente o material orgânico da isolação, diminuindo ou eliminando a isolação,
10. o vácuo pode causar a eliminação de materiais voláteis dos isoladores orgânicos, reduzindo sua resistividade.

2.7. Falhas do Equipamento

Além da falha da isolação, outras partes do equipamento podem falhar, provocando choque no operador. Uma linha de alimentação quebrada e energizado pode cair sobre uma maquina ou diretamente sobre uma pessoa. Falhas no equipamento elétrico podem tornar sua carcaça energizada. Quem toca-la leva um choque. Se a ferramenta ou equipamento não está aterrada e o operador que toca o equipamento não está isolado, o operador fornece uma ligação para o terra, levando um choque.

Uma ferramenta elétrica portátil pode ser protegida:

1. por uma isolação dupla,
2. por alimentação com três fios, onde um fio está aterrado,
3. por aterramento adequado.

2.8. Proteção Contra Choque

Os principais meios de garantir proteção ao pessoal que manipula equipamentos elétricos são:

1. isolar as partes do equipamento elétrico que o operador entra em contato rotineiramente ou acidentalmente durante a operação. Devem ser isolados: *knobs*, *dials*, botoeiras, chaves e medidores,
2. isolar o pessoal com sapatos com solados de borracha, luvas e roupas de material isolante.
3. usar circuitos de intertravamento monitorando equipamentos. Quando uma caixa perigosa for aberta, oferecendo perigo potencial ao operador, o circuito interno deve ser desligado automaticamente.
4. segregar e separar o equipamento elétrico de alta voltagem, impedindo a aproximação do pessoal não autorizado e não treinado. Transformadores devem ser alojados em cubículos apropriados. Painéis, geradores, motores, baterias, barramentos e outros equipamentos elétricos que oferecem perigo, devem ser fechados ou protegidos para evitar o contato acidental.
5. marcar os pontos de acesso para os equipamentos elétricos perigosos com etiquetas e avisos convenientes. Algumas normas recomendam que os internos dos disjuntores, caixas de fusíveis sejam pintados com coroes e projetos que indiquem imediatamente quando eles estiverem abertos.
6. dispositivos de indicação de status e alarme, que avisem quando o equipamento estiver ligado.
7. interruptor do circuito de falha de terra (*ground fault circuit interrupter*), que abre o circuito elétrico para a carga quando a corrente de falha para o terra exceder algum valor predeterminado que seja menor que o valor necessário para operar o equipamento protetor de sobrecorrente da alimentação. O interruptor detecta pequenas correntes, protegendo pessoas de levar choque. O fusível e o disjuntor atuam normalmente com grandes correntes, que seriam fatais para o operador.

2.9. Cuidados com Eletricidade

Acidentes em plantas devidos à eletricidade são frequentemente associados com falhas de isolação ou de terra ou com defeitos permanentes ou temporários de equipamentos.

O equipamento elétrico deve ser instalado, inspecionado, testado e mantido somente por eletricistas competentes.

O equipamento deve ser regularmente inspecionado e mantido. O equipamento que está sendo reparado deve ser desligado da alimentação até que o trabalho seja completado. A importância desta instrução deve ser feita claramente para o eletricista ou outro pessoal de manutenção. O equipamento defeituoso deve ser tirado fora de uso e completamente desligado da alimentação até que seja consertado.

A fiação temporária deve ser evitada, sempre que possível, mas se for usada, deve ser segura e aterrada corretamente. Ela deve ser inspecionada regularmente e reparada, quando necessário e deve ser substituída pela instalação permanente o mais rápido possível.

O circuitos não devem ser sobrecarregados, pois isso aumenta o risco de incêndio. A carga do circuito elétrica deve ser cuidadosamente supervisionada e os circuitos protegidos por fusíveis ou disjuntores.

Os fios devem ter cores padronizadas (por exemplo, marrom para a fase viva, azul para neutro e verde e amarelo para o terra.

Uma grande proporção de acidentes elétricos envolve equipamentos e ferramentas portáteis. É essencial garantir que uma ferramenta aterrada não seja usada a não ser que esteja corretamente aterrada. Todas as ferramentas portáteis devem ser mantidas e testadas regularmente.

Cabos e plugues são vulneráveis e requerem atenção especial. O desgaste ocorre principalmente nos pontos onde o cabo entra na ferramenta ou no plug. Prendedor de cabo reduz este problema. Cabos flexíveis devem ser posicionados de modo que não sejam danificados pelo equipamento pesado.

3. Eletricidade Estática

3.1. Introdução

A eletricidade estática é uma fonte de ignição para líquidos combustíveis e inflamáveis, gases, vapores, pós e fibras inflamáveis.

A eletricidade estática consiste de um exceção ou deficiência de elétrons na superfície de um material. Infelizmente, a manifestação que a eletricidade estática está presente é uma descarga elétrica que elimina este excesso ou deficiência. Quando duas superfícies estão muito próximas, os elétrons estarão presentes em um lado da interface e a segunda camada com cargas de polaridade oposta se forma paralelamente à primeira, na face oposta. Enquanto as superfícies permanecem próximas com as cargas se opondo entre si, de modo que para todos os efeitos externos, a combinação delas é eletricamente neutra. A magnitude das cargas que se acumulam depende basicamente da natureza do material, da área e geometria das superfícies de contato. Não é necessário haver atrito para gerar eletricidade estática. Porem, o atrito aumenta o desprendimento de elétrons e a produção de partículas ionizadas.

Como a geração de eletricidade estática depende das áreas em contato e sendo o fenômeno superficial, a vazão de um fluido através de uma tela, filtro ou qualquer outro dispositivo restritivo produz cargas estáticas. O filtro pode provocar grandes faíscas elétricas, mesmo quando o sistema estiver aterrado.

A eletricidade estática é gerada pela separação de cargas, usualmente por materiais moveis de baixa condutividade rapidamente afastados. A eletricidade estática da planta de processo é gerada em ambientes secos, poeirentos e onde fluidos são bombeados.

3.2. Aparecimento de Cargas Estáticas

Para que a eletricidade estática seja uma fonte potencial de ignição, são requeridas quatro condições:

1. existência de um meio efetivo de geração estática,

existência de meios de acumulo das cargas separadas e manutenção de uma diferença de potencial elétrico adequada,

2. existência da descarga de uma faísca com energia suficiente,
3. existência de uma mistura inflamável gás-ar na hora da faísca.

A eletricidade estática é gerada quando dois corpos estão em contato direto entre si, causando a transferência de elétrons entre eles e o aparecimento de uma força de atração. Quando os corpos são separados, deve se fazer trabalho em oposição à força de atração, resultando em dois corpos carregados eletricamente, um com carga positiva e o outro com carga negativa. Isto cria uma diferença de potencial entre os corpos carregados e também entre eles e o terra. Se for provido um meio de condução entre eles, as cargas se reunirão e os corpos voltam a ficar neutros eletricamente. Se não há contato elétrico entre eles, as cargas permanecem separadas. Eventualmente esta

carga pode se dissipar, descarregando através do ar, gerando uma faísca. A indução também pode provocar eletricidade estática, como ocorre na operação do capacitor e do indutor.

A eletricidade estática pode ser produzida intencionalmente ou acidentalmente quando:

1. correia isolante passa rapidamente por uma superfície estacionária, coletando cargas geradas e gerando alta voltagem,
2. fabricam-se folhas de papel, tecido, plásticos, fibras de vidro e de outros materiais isolantes,
3. há vazão de fluidos isolantes,
4. há interação entre superfícies isolantes.

As aplicações praticas onde pode existir perigos estáticos são as seguintes:

1. linhas de enchimento de botijões de gás,
2. carga e descarga de veículos e tanques
3. produção de pós orgânicos
4. fabricação de explosivos
5. fabricação de tecidos, papel, filmes de plástico.

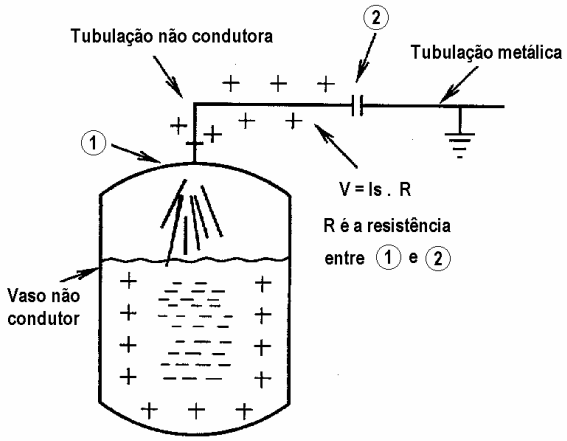


Fig.10.2. Acumulação de eletricidade estática em uma linha de alimentação devida à vazão do fluido

3.3. Relaxação

Relaxação é o processo pelo qual os elétrons deixam regiões carregadas negativamente e fluem para o terra ou regiões carregadas positivamente, quando as superfícies são separadas. O tempo de relaxação depende da facilidade com que os elétrons podem fluir através do material (condutividade). As superfícies condutoras tem pequena tendência para reter cargas elétricas assim que elas estejam aterradas.

Sempre que superfícies carregadas são separadas rapidamente, os elétrons podem ser impedidos de mover para neutralizar cargas opostas, se a condutividade do material através da qual os elétrons devem passar for baixa. A resistência ao movimento dos elétrons por um metal é extremamente baixa e facilmente ocorre a neutralização. A eletricidade estática raramente é um problema quando ambas as superfícies são metálicas. Com outras substâncias, como isolantes, o movimento dos elétrons será impedido e após a separação, o excesso de elétrons permanece na superfície do isolante.

Quando um tanque metálico está ligado com o terra, é considerado eletricamente neutro (voltagem zero). O líquido carregado no tanque terá uma carga na superfície. Esta carga da superfície irá atrair um carga oposta no tanque que está ligado ao terra. Eventualmente, as cargas opostas se reunirão e o líquido carregado se torna neutro. Esta reunião de cargas é chamada de tempo de relaxação. Quando um líquido é isolante, o tempo de relaxação é muito grande. O tempo de relaxação varia de frações de segundos até alguns minutos, dependendo da condutividade elétrica do líquido. Se a diferença de potencial entre a superfície do líquido e o tanque metálico é muito elevada, pode ocorrer a ionização do ar e uma faísca pode pular para o tanque. Se uma mistura vapor inflamável com ar está presente, ocorre uma explosão ou combustão.

No tanque isolado do terra, quando o tanque está sendo cheio do líquido, aparece uma carga na superfície. Esta carga na superfície atrairá uma carga de polaridade contrária no interior da parede do tanque metálico. O exterior do tanque terá carga livre da mesma polaridade da carga da superfície do líquido. Esta carga é capaz de produzir uma faísca para o terra. Num caminhão tanque, esta faísca pode ser entre o reservatório aberto e a tabulação de enchimento, que está aterrada.

3.4. Influência da Umidade

A condutividade de uma folha de material será aumentada por qualquer umidade presente. Um estudo da potencialidade de gerar potenciais elétricos em fabricas têxteis capazes de iniciar a detonação de misturas explosivas ou inflamáveis indicam os seguintes efeitos da umidade a 25 ^{o}C:

1. 65% - os potenciais produzidos eram inadequados para detonar as misturas explosivas ou incendiar as inflamáveis.
2. 35% - os contatos de nylon e lã, nylon e algodão produziram potenciais maiores

que 2650 volts, suficientes para provocar a ignição de materiais mais sensíveis.
3. 20% - potenciais mais elevados foram produzidos pelas combinações acima e pelo contato entre lã e algodão.
4. Menos de 20% - voltagens perigosas produzidas no corpo, mesmo com algodão.

3.5. Eliminação da Eletricidade Estática

A eletricidade estática pode ser controlada e eliminada em processos industriais. Podem ser usados vários métodos diferentes para dissipar as cargas estáticas ou para impedir a sua acumulação.

Há muitos materiais que são normalmente isolantes, como o papel, madeira, pano. mas que são condutores quando úmidos. Estes materiais não acumulam eletricidade estática apreciável, quando submetidos a uma atmosfera úmida.

A eletricidade estática se torna mais problemática no inverno. Isto ocorre porque o ar atmosférico externo, que pode ter uma alta umidade relativa, é trazido para os interiores e aquecido. Quando este ar é aquecido, a umidade relativa diminui (um ar externo a 0 ^{o}C quando aquecido internamente a 21 ^{o}C fica com umidade relativa aproximada de 20%)

Em geral, a umidade relativa maior ou igual a 50% é capaz de dissipar e impedir a acumulação de cargas elétricas.

O aterramento é o modo mais direto de impedir o acumulo de cargas elétricas em objetos isolantes, neutralizando-os. Acontece problemas quando o sistema possui terras diferentes. Por definição, o terra ideal equivale a zero volt.

A eletricidade estática deve ser controlada pela ligação eficiente entre as tubulações e veículos, colocação de aditivos no produto, redução na vazão de bombeamento.

Os invólucros de plástico devem ser marcados com advertências, para que sejam limpos apenas com um pano úmido para evitar a geração estática inadvertidamente.

Outro modo de eliminar o acumulo de cargas elétricas é através da ionização do ar, tornando-se o ar condutor elétrico.

Os principais modos de controlar e diminuir os efeitos da eletricidade estática são:
1. seleção dos materiais convenientes, evitando aqueles que geram eletricidade estática. Por exemplo, onde o corpo da pessoa pode criar problema com geração de carga, deve-se usar roupa de algodão, em vez de usar roupa de lã ou de nylon.
2. modificação do material, através de revestimento da superfície com material condutor.
3. fazendo aterramento das superfícies que possam acumular cargas, neutralizando-as. O aterramento pode ser feito para qualquer reservatório de cargas onde os elétrons podem ser descarregados ou de onde eles podem fluir. Antigamente os caminhos tanque eram equipados com correntes metálicas para aterrar as cargas estáticas. Porem, achou-se que isso era ineficaz durante o inverso por causa da baixa condutividade da superfície da estrada e era desnecessário quando a estrada estava úmida. Seu uso não é mais recomendado.
4. neutralizadores eletrostáticos, dos tipos radioativo, de alta voltagem e de indução. Seu uso deve ser considerado cuidadosamente pois o neutralizador radioativo pode ser perigoso para as pessoas e o de alta voltagem pode provocar choque no pessoal.
5. umidificando o ambiente, aumentando a umidade relativa acima de 65% para dissipar as cargas estáticas.

Para maiores informações acerca da eletricidade estática, ver a norma NFPA 77.

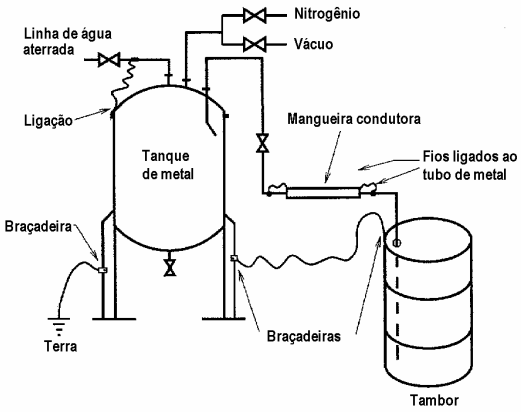


Fig.10.3. Procedimentos de ligação e aterramento para tanques e vasos

4. Raio (*Lightining*)

4.1. Conceito

O raio é uma corrente que flui entre a nuvem e os centros de carga da terra ou entre duas nuvens, usualmente de altíssimo valor e curtíssima duração. Se esta corrente fluir

horizontalmente na planta pode ser gerada grande diferença de potencial.

O raio é uma causa freqüente de fogos e muitas vezes é uma causa indireta de incêndio e explosões porque ele induz voltagens e faíscas.

Há quatro tipos diferentes de raios:

1. o raio negativo para baixo,
2. o raio positivo para baixo,
3. o raio positivo para cima,
4. o raio negativo para cima.

O raio pode ocorrer entre a nuvem e o terra e entre nuvens. O raio é gerado nas nuvens. Estas nuvens são muito grandes e podem atingir a altura de 20 km. As bases estão à altura de 1 km a 4 km e possuem diâmetros de 8 a 50 km. Estas nuvens contem gotas d'água, partículas de gelo, neve e pedras de gelo. A chuva destas nuvens pode corresponder a 40 mm em um período curto, sobre uma área mínima de 3 km^2. Esta água pesaria mais de cem mil toneladas, requerendo ventos ascendentes com grande velocidade para mantê-las suspensas no ar.

Este movimento de ar para cima em uma nuvem também provoca movimento nas pedras de gelo, gotas d'água, partículas de gelo e neve dentro das nuvens. O movimentos destas cargas entre si forma cargas elétricas dentro da nuvem, similar à geração de cargas estáticas. As cargas tendem a se separar, com as negativas embaixo e as positivas em cima das nuvens. Quando as nuvens se movem sobre a superfície terrestre, a carga negativa no fundo da nuvem atrai a carga positiva da terra. Em algum momento, uma carga vai para baixo, saindo da nuvem, ionizando o ar e permitindo o fluxo de uma corrente. Em alguma distância da terra, conhecida como distância da queda, o intervalo é completado e isto é chamado de ponto de discriminação. O retorno da terra contem a maior parte da descarga do raio. Um único relâmpago pode ser composto de até 40 componentes. A velocidade varia de 160 km/h (inicio) até 32.000 km/h (raio principal). A corrente pode atingir até 270.000 A, durante alguns micro-segundos ou então 10.000 A e durando mais tempo. A diferença de potencial pode chegar a 15×10^6 V.

Toda esta potência pode provocar diretamente a ignição de tanque de armazenagem cheio de líquido combustível, se o raio cai diretamente sobre ele ou indiretamente, induzindo faíscas, quando o raio cai na proximidade do tanque.

4.2. Proteção Contra Raios

Os tanques e vasos contendo líquidos e gases inflamáveis devem ser protegidos contra raios e não necessitam de proteção adicional se eles são:

1. de estrutura metálica que é eletricamente continua,
2. selados para evitar o escapamento de líquidos, vapores ou gases,
3. espessos de mm, no mínimo.

Fig. 10.4. Fenômeno do raio

Se os tanques não tem estas características, então se deve providenciar o seguinte:

1. os líquidos inflamáveis devem ser armazenados em estruturas essencialmente vedadas a gás,
2. as aberturas onde as concentrações de vapor ou gás inflamável podem escapar para a atmosfera devem ser fechadas,
3. as estruturas e todos os acessórios (drenos, válvulas de alivio) devem ser mantidas em boas condições de operação,
4. as misturas inflamáveis gás e ar devem ser evitadas de acumulação em algum ponto externo da estrutura,

Adicionalmente, deve-se colocar o pára-raios, o sistema de terra e os condutores de interligação. Teoricamente, isto dá a corrente do raio uma trajetória de baixa resistência para o terra. Quando a corrente do raio encontra um caminho com alta resistência (como madeira,

pedra, concreto), haverá perigo por causa do altíssimo calor e das forças mecânicas.

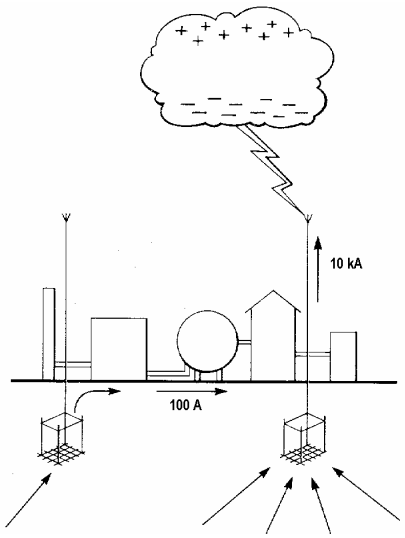


Fig. 10.5. Raio e corrente elétrica associada

Todo terminal aéreo deve ter dois condutores ligados ao terra. O terra do sistema é muito importante. O objetivo é se ter um terra com baixíssima resistência (teoricamente zero ohm). O sistema típico do terra consiste de barras de cobre sólido, aço inoxidável, com diâmetro mínimo de 1/2" e comprimento mínimo de 2,5 metros. A barra de terra deve ser enterrada, no mínimo, 3 metros.

As partes do edifício mais prováveis de receber o raio são aquelas que se projetam acima dos objetos vizinhos, como chaminé, torre, caixa d'água, poste, parapeito. Em um teto plano, o canto é o ponto mais provável de receber o raio.

As estruturas verticais da planta devem possuir um terra bem projetado. Os tanques e torres de processo que são aterradas corretamente não necessitam de pára-raios.

Como proteção, os pára-raios são colocados de modo que suas extremidade superior fique acima de qualquer estrutura vizinha. Os terras com baixa resistência fornecem uma passagem fácil para a corrente até o terra. Isto protege os circuitos elétricos e todos os equipamentos metálicos no edifício ou estrutura de serem percorridos pela corrente do raio. O efeito secundário do raio, a indução em qualquer condutor vizinho, pode ser absorvido pelos terras do sistema e proteção de sobrecarga.

Durante uma tempestade elétrica, os objetos naturais ou fabricados e as pessoas podem agir como terra se ele estiver mais alto que a vizinhança. Mesmo uma pessoa em um barco ou em campo aberto é suficientemente alta para apresentar uma trajetória de menor resistência do que a mesma altura de ar. Uma pessoa recebendo um raio é eletrocutada. Uma árvore é outro terra natural para o raio. Sozinha no campo, a árvore fornece proteção contra a chuva mas ela fica perigosa quando começa a cair raios.

Certos tipos de terrenos e estruturas são mais sujeitos a raios do que outros, por causa das trajetórias que eles fornecem. Tais estruturas requerem proteção adicional para evitar danos, outras possuem proteção inerente. Todos os edifícios com estruturas metálicas fornecem grandes áreas indutivas que protegem seus habitantes. Porem, a não ser que tenham terras específicos, a corrente proveniente do raio pode seguir uma trajetória aleatória para o terra, danificando circuitos e equipamentos e dando choque em pessoas em contato com superfícies metálicas.

As precauções que devem ser tomadas pelas pessoas dentro de edifícios durante tempestades com raios são as seguintes:

1. se o edifício com estrutura metálica possui proteção de pára-raios e terra adequados, ele constitui uma proteção segura e não se requer nenhum cuidado especial,
2. se o edifício com estrutura metálica não possui pára-raios, não se deve ficar em contato com as superfícies metálicas ou com equipamentos elétricos.

Em área externa, no campo ou no mar, uma pessoa distante de pontos altos deve permanecer deitada. A proteção em áreas abertas deve ser procurada em depressões e vales, se não houver perigo de inundação. Em área arborizada, deve-se procurar proteção contra chave debaixo de árvore de altura pequena, distante das árvores mais altas. Devem ser evitadas estruturas metálicas, pois elas agem como terra.

Conclusão Final

Todas as técnicas de proteção se baseiam em normas, recomendações e praticas existentes, sugeridas e aplicadas em plantas com muitos anos de experiência e comprovadamente seguras. Todos os métodos de segurança, quando aplicados corretamente, são satisfatórios. Todos apresentam vantagens e desvantagens, como aliás, tudo na vida. A escolha do melhor método de proteção se baseia em aspectos técnicos e econômicos e devem se referir ao sistema completo.

As recomendações finais seriam:

1. conhecer profundamente as normas, códigos, recomendações e praticas das agências certificadoras, legais e dos fabricantes dos instrumentos.

2. assegurar que todas as exigências estão satisfeitas, de modo a fornecer a segurança da sala de controle.

3. assegurar que todas as áreas da planta estejam razoavelmente classificadas.

4. investigar a possibilidade de usar os seguintes métodos de proteção, em ordem de prioridade:

a) segurança intrínseca

b) prova de explosão ou prova de chama

c) purga ou Pressurização

5. depois de definida e escolhida a técnica principal, conseguir a literatura técnica sobre o sistema escolhido: as normas, os certificados de aprovação, as recomendações e os guias do fabricante.

6. fornecer a identificação apropriada a todos os equipamentos do sistema.

7. definir toda a filosofia de segurança e instalação e garantir a sua aplicação total.

8. Os equipamentos só devem ser usados para o objetivo para o qual ele foi projetado e certificado. O equipamento não pode ser alterado por modificação. Não se pode permitir a deterioração devida ao tempo ou corrosão. O equipamento deve ser mantido adequadamente.

9. manter-se atualizado com todas as revisões, modificações, correções necessárias e feitas durante a montagem, a operação e a manutenção.

10. enfim, aceitar que segurança é, principalmente **uma questão de comportamento e de conhecimento**.

Terminologia de Segurança

ABNT (Associação **B**rasileira de **N**ormas **T**écnicas)

Organização não governamental, sem fins lucrativos, credenciada pelo **INMETRO** para editar as normas técnicas brasileiras.

Anormal

No contexto de operação, anormal é o funcionamento irregular, inesperado e fora do normal. Exemplo de condição anormal: vazamento entre flanges, ruptura de gaxetas, estouro de uma tubulação, quebra de um transmissor, falta de energia.

No contexto de Segurança Intrínseca, curto circuito, fio partido e contato com terra são consideradas condições normais.

ATEX

Acróstico de **AT**mosfera **EX**plosiva. Refere-se a um conjunto de normas Diretivas aplicadas a equipamentos usados em áreas explosivas.

Mais conhecidas: ATEX 95 – Diretiva 94/9/EC e ATEX 137 – Diretiva 1999/92/EC.

Classes dos equipamentos

Os equipamentos elétricos projetados para áreas perigosas são divididos nos grupos:

Grupo I – equipamento para uso em mina subterrânea ou em sistema acima da terra que constitui perigo por causa de gases ou pós inflamáveis de minas.

Grupo II – equipamento para uso em outros locais que constituem áreas perigosas devido a uma atmosfera explosiva. Este grupo é subdividido em:

Grupo IIA, IIB e IIC para o método de proteção de segurança intrínseca (Ex-i) e à prova de chama, em função da relação da mínima corrente de ignição dos gases para a mínima corrente de ignição do metano, em laboratório.

Categorias dos equipamentos

Classificação baseada nas características do equipamento durante a ocorrência de falhas:

ia – nenhum ignição ocorre durante operação ininterrupta ou em caso de duas falhas.

ib – nenhum ignição ocorre durante operação ininterrupta ou em caso de uma falha.

Aprovado

Termo aplicado a equipamento, instrumento ou invólucro, significando que ele é compatível para uso em local perigoso específico.

Aprovado para Zona 1

Termo aplicado a equipamentos que possuem proteção que permite o seu uso em Zona 1. Pode ser usado também em Zona 2 ou em área segura. Não pode ser usado em Zona 0. Exemplo de proteção para Zona 1: prova de explosão ou segurança intrínseca.

Aprovado para Zona 2

Termo aplicado a equipamentos que possuem proteção que permite o seu uso em Zona 2. Não pode ser usado em Zona 1. Pode ser usado em área segura. Exemplo de proteção apenas para Zona 2: não incenditivo.

Área Perigosa

Local onde é possível e provável de haver misturas explosivas em quantidades perigosas. Mesmo que área classificada ou área de risco. Exemplos: áreas de Zona 0, 1 ou 2.

Na área perigosa deve se usar instrumento elétrico com classificação elétrica compatível.

Área Segura

Local onde não é possível e provável de haver misturas explosivas em quantidades perigosas. Mesmo que área não classificada.

Na área segura deve se usar instrumento elétrico de uso geral.

Atmosfera Explosiva

Mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis em forma de gases, vapores, pós, fibras em que, após a ocorrência da ignição, a combustão se espalha para toda a mistura não queimada.

Atmosfera Explosiva Perigosa

Uma atmosfera potencialmente explosiva de uma quantidade perigosamente alta. Uma quantidade perigosamente alta implica que, no caso de ignição, é muito provável resultar em dano ao pessoal por causa de efeitos diretos ou indiretos.

Atmosfera Potencialmente Explosiva

Uma mistura que pode se tornar explosiva devido ao local e às condições operacionais

Barreira de Segurança Intrínseca

Um dispositivo que limita a energia entregue pelo equipamento da área segura para o equipamento da área perigosa. Geralmente construída com resistores, diodos zener, fusíveis. Também chamada de barreira Zener ou Barreira *Redding* (com fusível).

A barreira de segurança intrínseca é geralmente montada na área segura, podendo ser montada na área perigosa, quando deve ter classificação elétrica compatível (prova de explosão ou pressurizada).

BASEEFA

British **A**pprovals **S**ervice for **E**lectrical **E**quipment in **F**lammable **A**tmospheres.

CE

Comunidade européia. Marcação de instrumento indicando conformidade com normas européias.

CENELEC

European **C**ommittee for **E**lectrical **S**tandards. Os participantes são os países da comunidade européia mais Noruega e Suíça.

Certificado de Segurança Intrínseca

Documento assegurando que um determinado equipamento é intrinsecamente seguro conforme exigências de normas BASEEFA SFA 3012.

Circuitos vizinhos não intrinsecamente seguro

Os circuitos de segurança intrínseca devem ser mantidos separados dos circuitos não intrinsecamente seguros e devem ser claramente marcados. Assim, os condutores ou fios de circuitos seguros intrinsecamente seguros e não intrinsecamente seguros não podem ser combinados em cabos, conduítes ou bandejas. Todos os equipamentos ligados a um circuito intrinsecamente seguro devem ser certificados, independe de eles estarem localizados dentro ou fora da área perigosa, exceto os equipamentos elétricos simples.

Classe

Parâmetro de classificação de área perigosa, relacionado com a natureza física da substância perigosa presente. O NEC reconhece três classes:

Classe I – gases e vapores
Classe II – pós
Classe III - fibras

Classificação

Atribuição de parâmetros a locais, equipamentos e instrumentos para atender exigências de normas, geralmente associados à sua integridade e à segurança.

Classificação de Área

Atribuição dos parâmetros de Classe, Grupo e Zona para um local, em função do tipo físico e químico da substância e da probabilidade de sua presença neste local.

Classificação Elétrica do Instrumento

Especificação do instrumento relacionada com a existência ou não de técnica de proteção. A classificação elétrica do instrumento deve ser conforme e função da classificação da área onde ele vai ser montado. A presença do instrumento no local não pode aumentar o risco de haver explosão no local, provocada pelo instrumento.

Classificação Mecânica do Instrumento

Especificação do instrumento relacionada com as condições ambientais vizinhas. O instrumento deve se manter íntegro em qualquer lugar que ele esteja montado e é sua classificação mecânica do invólucro que garante esta integridade.

Classificação de Temperatura, T1 a T6

Classificação dos instrumentos considerando a máxima temperatura que sua superfície ou algum componente pode atingir, quando a temperatura ambiente é de 40 ^{o}C. A temperatura máxima da superfície deve ser sempre menor que a temperatura mínima de ignição da atmosfera explosiva mais facilmente ignitável, que circunda o instrumento.

Código

Código é uma coleção de leis, normas ou critérios relacionados com um determinado assunto. Exemplo clássico de código é o NEC - National Electric Code.

Combustão ou Fogo

Combustão é uma reação química de oxidação, geralmente com liberação de energia, na forma de calor e, às vezes, luz (chama). Parte da energia liberada é usada para sustentar a reação.

Quando a combustão envolve chama, é chamada de ignição ou fogo.

Comburente

Substância que age como oxidante na reação de oxidação. Exemplo: oxigênio, flúor, cloro ou ácido. Comburente combinado com combustível resulta em combustão.

Combustível

Substância que age como redutor na reação de oxidação. Substância necessária para provocar uma combustão, quando em mistura com o ar ou oxigênio (oxidante) e na presença de fonte de energia. Exemplos: carbono (carvão), hidrogênio, magnésio, hidrocarbonetos (CH).

Componentes não susceptíveis a falha

Não se espera falha deste componente. De acordo com a norma EN 50 020, não precisa haver redundância destes componentes. Exemplos:

1. transformadores
2. acopladores óptico
3. relé
4. bobina de damper
5. resistor para limitação de corrente especial

Condições Atmosféricas

A combinação de
pressão de 0,8 a 1,1 bar
temperatura da mistura de –20 a +60 ^{o}C.

Condições de Explosão

A disponibilidade simultânea de uma mistura explosiva (gás combustível e ar ou oxigênio) e uma fonte de ignição.

Componentes susceptíveis a falha

Espera se a falha deste componente. Exemplos:

1. semicondutores
2. capacitores

Pela norma EN 50 020, eles podem somente ter carga com uma percentagem de dos valores nominais de corrente e tensão.

Critério

Critério é qualquer regra ou conjunto de regras que pode ser usado para controlar, dirigir ou julgar.

CSA

Canadian **S**tandards **A**ssociation.

Deflagração

Uma explosão com uma onda de choque resultante movendo em uma velocidade menor que a velocidade do som no meio não reagente.

Detonação

Uma explosão com uma onda de choque resultante movendo em uma velocidade maior que a velocidade do som no meio não reagente.

Densidade

Densidade absoluta é a relação da massa dividida pelo volume.

Densidade relativa ou gravidade especifica é a relação da densidade do gás comparada com a densidade do ar ou a relação da densidade do líquido comparada com a densidade da água, todas tomadas à mesma temperatura e pressão.

A densidade do gás pode ser também calculada como a relação do peso molecular do gás ou vapor comparado com o peso molecular médio do ar.
Conforme a norma **NBR 8370**, tem-se

Gás mais pesado que o ar é o com densidade relativa igual ou maior que 1,1.

Gás mais leve que o ar é aquele com densidade relativa igual ou menor que 0,75

Gás com mesma densidade que a do ar tem densidade relativa entre 0,75 e 1,1.

DIN

Das **I**st **N**ormen. Prefixo de normas alemãs.

Diretiva 94/9/EC

Diretiva ATEX 95, de 23 MAR 1994, sobre a aproximação das leis dos Estados Membros da Comunidade Européia relativas a equipamento e sistemas de proteção para uso em atmosferas potencialmente explosivas.

Diretiva 1999/92/EC

Diretiva ATEX 137, de 16 DEZ 1999, sobre as exigências mínimas para melhorar a segurança e proteção da saúde de trabalhadores potencialmente em risco de atmosferas explosivas.

Divisão

Parâmetro de classificação de área perigosa associado com a probabilidade da presença da mistura explosiva no local usado pelo NEC. Divisão (EUA) é equivalente a Zona (IEC).

O NEC reconhece duas divisões: 1 e 2.

Divisão 1

Local de alta probabilidade relativa de haver mistura perigosa no local ou quando é possível haver mistura explosiva em condição normal e anormal do processo. Divisão 1 é equivalente a soma de Zona 0 e Zona 1.

Divisão 2

Local de baixa probabilidade relativa de haver mistura perigosa no local ou quando é possível haver mistura explosiva apenas em condição anormal do processo. Divisão 2 é equivalente a Zona 2.

Encapsulamento

Técnica de proteção onde o circuito ou dispositivo é envolvido por uma resina isolante termal e elétrica, de modo que a atmosfera perigosa não entre em contato com a fonte de energia contida nele. Tipo de proteção Ex m.

Enchimento de areia

Técnica de proteção onde o equipamento elétrico é coberto por areia ou pó, de modo que a atmosfera perigosa não entre em contato com a fonte de energia contida nele. Tipo de proteção Ex q.

Energia mínima de ignição

A menor quantidade de energia elétrica que, sob determinada condição de teste, é capaz de causar ignição de uma atmosfera inflamável ou uma camada de pó.

Equipamento

Um conjunto de dispositivos, aparato, sensor ou instrumento que desempenha uma função determinada. O mesmo que **aparato**.

Equipamento associado

Equipamento elétrico que contem circuitos intrinsecamente seguros e não intrinsecamente seguros e é construído de mo que os circuitos seguros não intrinsecamente seguros não possam afetar negativamente os circuitos intrinsecamente seguros.

Exemplos de equipamentos associados:

1. equipamento elétrico que tem um tipo alternativo de proteção listado na norma EN 50 014 para uso em atmosfera de gás explosivo apropriada.
2. equipamento elétrico não tão protegido e que não pode ser usado dentro de uma atmosfera de gás explosivo mas que está ligado a um sensor situado dentro da atmosfera explosiva, onde somente o circuito de entrada do equipamento é intrinsecamente seguro.

Os equipamentos intrinsecamente seguros podem ser subdivididos em:

3. equipamento passivo intrinsecamente seguro, que contem exclusivamente circuitos intrinsecamente seguro em que a segurança intrínseca não se aplica, como foto elementos, cápsula de telefone dinâmico, controlador de contato, caixa terminal e conector tipo plug. Todos estes elementos não liberam energia ou liberam energia em nível desprezível e insuficiente

para provocar faísca perigosa e não estão sujeitas a aumentos indesejáveis de calor. Eles não precisam ter certificação de segurança intrínseca.

4. equipamento seguro passivo intrinsecamente seguro com armazenamento de energia. Um equipamento sem sua própria fonte de energia mas que pode armazenar energia termal, magnética ou elétrica. Exemplos:
   a) instrumentos de medição
   b) sensores indutivos
   c) sensores capacitivos
   d) LED (diodo emissor de luz)
   e) capacitor de supressão de ruído

Estes equipamentos são certificados somente quando o operador responsável pela função do equipamento está inseguro acerca de sua habilidade de armazenar energia e insiste em seu teste e certificação.

Equipamento intrinsecamente seguro

Equipamento elétrico em que todos os circuitos são intrinsecamente seguros.

Equipamento simples

Equipamento que consiste em:

1. componentes passivos de circuito, como sensor de temperatura a resistência.
2. componentes de armazenamento de energia, como capacitor e indutor.
3. componentes produtores de energia, como o termopar.

Equipamento de Teste de Faísca

Equipamento para testar circuitos intrinsecamente seguro, descrito na IEC Pub 79-3, de acordo com EN 50 020.

Especificação

Especificação é uma descrição detalhada de necessidades técnicas.

Ex

Símbolo para instrumento com alguma técnica de proteção para uso em área perigosa ou classificada.

EEx é quando o instrumento com classificação elétrica especial é fabricado na comunidade européia.

Símbolo de identificação de equipamento protegido contra explosão e com certificado de conformidade emitido por uma autoridade de teste da comunidade européia e reconhecido pelos outros estados.

Ex-b

Símbolo de proteção com limitação da fonte de ignição, conforme EN 13463.

Ex-c

Símbolo de proteção com construção, conforme EN 13 463.

Ex-d

Símbolo de proteção à prova de chama ou prova de explosão, conforme EN 50 0158 e prEN 13 463.

Ex-e

Símbolo de proteção com segurança aumentada, conforme EN 50 019.

Ex-fr

Símbolo de proteção com respiração restrita, conforme EN 13 463.

Ex-g

Símbolo de proteção tipo segurança inerente, conforme EN 50 014.

Ex-h

Símbolo de proteção com fechamento hermético, conforme EN 50 021.

Ex-i

Símbolo de proteção com segurança intrínseca, conforme EN 50 020.

Ex-iD

Símbolo de proteção com segurança intrínseca, conforme IEC 61 241-5.

Ex-k

Símbolo de proteção com imersão em líquido, conforme prEN 13 463.

Ex-m

Símbolo de proteção com encapsulamento, conforme EN 50 014.

Ex-mD

Símbolo de proteção com encapsulamento, conforme IEC 61 241-6.

Ex-n

Símbolo de proteção não acendível ou não incenditivo, conforme EN 50 021.

Ex-nA

Símbolo de proteção com equipamento não faiscador, conforme EN 50 021.

Ex-nC

Símbolo de proteção com chaveador fechado, selado, hermeticamente selado, encapsulado e não ignitável, conforme EN 50 021.

Ex-nL

Símbolo de proteção com energia limitada, conforme EN 50 021.

Ex-nP

Símbolo de proteção com equipamento com pressurização simplificada, conforme EN 50 021.

Ex-nR

Símbolo de proteção com respiração restrita, conforme EN 13 463.

Ex-o

Símbolo de proteção com imersão em óleo, conforme EN 50 015.

Ex-p

Símbolo de proteção com pressurização, conforme EN 50 016.

Ex-pD

Símbolo de proteção por pressurização, conforme IEC 61 241-4.

Ex-q

Símbolo de proteção com enchimento de areia (quartzo), conforme EN 50 017.

Ex-s

Símbolo de proteção especial, conforme EN 50 014.

Ex-tD

Símbolo de proteção por invólucro, conforme IEC 61 241-1-1.

Explosão

Reação exotérmica em mistura explosiva ou atmosferas em que ocorre uma velocidade de propagação da chama de até 100 m/s e uma repentina pressão explosiva de até 1 MPa (10 bar).

Combustão não desejada e não controlada, onde aparece uma onda de pressão altíssima.

Expansão rápida de gases resultando em uma onda de choque ou de pressão se movendo rapidamente.

O dano da explosão é causada pela pressão ou onda de choque.

Explosão confinada

Explosão que ocorre dentro de um vaso ou edifício. Ela é mais comum e usualmente mais perigosa que a não confinada para as pessoas que estão no local confinado.

Explosão não confinada

Explosão não confinada ocorre no ar livre. Esta explosão geralmente resulta de vazamento de gás inflamável.

Explosão não confinada é mais rara que a confinada, pois geralmente a mistura é diluída pelo vento abaixo do limite inferior de inflamabilidade. A explosão não confinada geralmente tem maior poder destrutivo que a confinada, pois há envolvimento de maior quantidade de gás e de maior área.

Explosão de Pó

Explosão resultante da combustão rápida de partículas sólidas finas. Muitos materiais sólidos, como ferro e alumínio, se tornam muito inflamáveis quando reduzidos a um pó fino.

Explosão de Vapor Expandindo de Líquido Evaporando (BLEVE – *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*)

Explosão que ocorre se um vaso contendo um líquido se rompe, em uma temperatura acima do ponto de ebulição à pressão atmosférica. Esta explosão ocorre quando uma fonte externa aquece o conteúdo do tanque com material volátil. Quando o conteúdo do tanque se aquece, a pressão de vapor do líquido dentro do tanque aumenta e a integridade estrutural do tanque diminui por causa do calor. Se o tanque se rompe, o líquido quente se vaporiza, causando explosão (mecânica). Se a nuvem vaporizada for combustível, pode haver outra explosão ou combustão (química).

Faixa inflamável

Faixa inflamável ou explosiva é limitada pelo limite inferior e superior de inflamabilidade.

Fiação

Cabos ou fios trançados que interligam dois instrumentos ou circuitos separados, para constituir o meio físico de comunicação ou de alimentação.

Flare

Dispositivo na indústria de petróleo e petroquímica, para eliminar gases combustíveis do processo, queimando-os abertamente e tornando seguro o local vizinho. Também chamado de **ignição contínua**.

FM

Factory **M**utual Research. Laboratório americano de certificação e testes.

Fonte de Perigo

Qualquer ponto do qual pode ser liberado material inflamável que possa criar uma atmosfera inflamável. Exemplo de fonte de perigo: ponto de dreno, saída de válvula de alívio de pressão, válvula cuja gaxeta pode falhar, disco de ruptura.

Existe método de classificação de área baseado na e chamado de Fonte de Perigo.

Gás Inflamável

Gás ou vapor capaz de entrar em ignição quando misturado com ar em certas proporções.

Gás Inflamável Liqüefeito

Um material inflamável que é armazenado ou manipulado como líquido e que a 17,5 ^{o}C e pressão atmosférica é uma gás inflamável.

Grupo

Parâmetro de classificação de área perigosa, associado com a **Classe** e relacionado com a natureza química da substância perigosa presente.

O NEC reconhece para a Classe I, quatro grupos:

Grupo A - acetileno
Grupo B – hidrogênio + 6 gases
Grupo C – etileno + 13 gases
Grupo D – metano +45 gases

O NEC reconhece para a Classe II, três grupos:

Grupo E- pós metálicos
Grupo F– pós do carbono
Grupo G– pós agrícolas

A Classe III, fibra, não possui grupos.

Hermeticamente Selado

Um dispositivo em que a atmosfera externa não pode acessar o seu interior e onde a selagem não depende do uso de anéis O ou materiais elastômeros.

IEC

International **E**lectrotechnical **C**ommission. IEC é o órgão que edita as normas técnicas da **ISO**.

Ignição

Ignição é o início de queima de uma mistura combustível ou a própria queima.

A ignição de uma mistura inflamável pode ser causada pelo contato da mistura com uma fonte de ignição com energia suficiente ou a mistura atingindo uma temperatura alta suficiente para causar uma auto-ignição.

Equivalente a **combustão**.

Ignição contínua

Técnica de proteção da indústria petroquímica e de petróleo que usa um queimador ou flare. **Ver Flare**.

Imersão em óleo

Técnica de proteção onde o equipamento elétrico é imerso em óleo, de modo que a atmosfera perigosa não entre em contato com a fonte de energia contida nele. Tipo de proteção Ex o.

Inerte

Sem atividade, reatividade ou efeito. Gás inerte é usado para fazer purga ou pressurização de equipamentos, tornando-os seguros. Exemplo: nitrogênio, CO_2 (CO é combustível) e os gases nobres.

Instalação de Sistemas Intrinsecamente Seguros

Embora a construção dos equipamentos com circuitos de segurança intrínseca seja

muito parecida, a instalação de equipamento intrinsecamente seguro ainda deve ser feita sob condições muito específicas.

Baixos níveis de potência podem ser suficientes para ultrapassar as medidas de segurança intrínseca, tornando-se perigosos. As exigências de instalação de segurança intrínseca têm o objetivo de identificar claramente os circuitos intrinsecamente seguro e protegê-los de influências externas.

IP

Ingress **P**rotection ou **I**nternational **P**rotection. Prefixo da proteção mecânica de invólucros na norma IEC. Por exemplo, invólucro IP 54 é protegido contra pó e respingo d'água.

ISO

International **S**tandardization **O**rganization - Organização de Padronização Internacional.

Ligação equipotencial

Ligação equipotencial é recomendada para manter no mínimo o perigo de formação de faísca devida a diferenças em potencial em áreas potencialmente explosivas. Todos os componentes condutores acessíveis ao contato, como conectores, containeres e conduítes, devem ser ligados entre si e o condutor protetor.

Limites de Inflamabilidade

As misturas gás – ar só podem entrar em ignição e queimar dentro de uma faixa bem especificada de composições, acima de um limite inferior inflamável (LIF) e abaixo de um limite superior inflamável (LSF). Os Limites de Inflamabilidade são também chamados de Limites de Explosividade.

Limites inferior e superior da concentração de uma substância inflamável em uma mistura de gases, vapores, pós ou fibras em que uma mistura não mais entra em combustão, independentemente da fonte de ignição.

Limite mínimo inflamável

A menor concentração de gás, vapor, pó ou fibra inflamável que, quando misturada com o ar, é capaz de entrar em ignição e depois se propagar, sob condições de teste específicas.

Limite máximo inflamável

A maior concentração de gás, vapor, pó ou fibra inflamável que, quando misturada com o ar, é capaz de entrar em ignição e depois se propagar, sob condições de teste específicas.

Líquido inflamável

Líquido capaz de formar um vapor inflamável.

Manuais

Manuais, *handbooks*, guias ou catálogos conte práticas obrigatórias, conceitos gerais e exemplos para ajudar o projetista ou operador.

Marcação

Advertências para manipulação, operação e manutenção que devem estar contidas na etiqueta afixada ao equipamento contendo dados do instrumento. Toda proteção de instrumento deve ter uma marcação que o identifique como tal.

Material inflamável

Gás, vapor, líquido, pó ou fibra que pode entrar em ignição quando misturado com ar em certas proporções.

MESG

Maximum **E**xperimental **S**afe **G**ap é o espaçamento máximo experimental seguro. Distância crítica relacionada com o resfriamento de chamas.

Parâmetro útil para classificação dos gases de uma área perigosa e para determinar os interstícios do invólucro à prova de chama.

Método de Proteção Contra Explosão

As contramedidas específicas tomadas em um equipamento elétrico para evitar a ignição da atmosfera explosiva que o cerca.

Mínima energia de ignição

A energia mais baixa possível ocorrendo durante a descarga de um capacitor que pode ainda provocar a ignição de gases ou vapores com o ar, em uma pressão de 1 bar e uma temperatura de 20 ^{o}C.

Não Faiscador

Termo aplicado a equipamento que sob condição normal de operação e exceto quando submetido a falha elétrica ou

mecânica, não produz arco voltaico ou faísca capaz de provocar ignição na atmosfera inflamável vizinha.

Não Incenditivo (Não acendível)

Tipo de proteção aplicado a equipamento elétrico que, em operação normal, não é capaz de provocar ignição da atmosfera explosiva vizinha e não é provável ocorrer uma falha capaz de causar ignição.

NBR

Norma brasileira. Toda norma brasileira definitiva tem este prefixo. Por exemplo, NBR 6146 (Dez 90), Invólucros de Equipamentos Elétricos – Proteção: Especificação é baseada na norma IEC 529/76.

NEC

National **E**lectrical **C**ode

NEMA

National **E**lectrical **M**anufacturers **A**ssociation

NFPA

National **F**ire **P**rotection **A**ssociation.

Norma

Norma é um conjunto de critérios, necessidades ou princípios. Há normas voluntárias (como ISO 9000) e normas obrigatórias (como NR 13).

Normal

No contexto de operação normal, o funcionamento regular, esperado, corrente, em andamento, diário do equipamento, considerando as normas de projeto as praticas de manutenção e produção. Exemplo de condição normal: conexão sem vazamento, não ruptura de gaxetas, fiação sem curto circuito ou sem rompimento, tubulação íntegra , transmissor calibrado, energia principal presente.

Normal não é ideal ou perfeito.

No contexto de Segurança Intrínseca, curto circuito, fio partido e contato com terra são consideradas condições normais.

Onda de choque

Onda de pressão se movendo através de um gás. Uma onda de choque em ar aberto é seguida por um forte vento.

OSHA

Occupational **S**afety and **H**ealth **A**ct (Administration). Ato que define o local seguro e sadio para todo americano trabalhar nele.

Perigo (*hazard*)

Perigo é uma condição com potencial de causar ferimento em pessoas, estrago em equipamentos ou estruturas, perdas de material ou redução da habilidade de desempenhar uma determinada função.

O grau de perigo (**danger**) expressa a exposição relativa a um perigo. Um perigo pode estar presente, mas pode haver pequeno risco por causa da precauções tomadas.

Pó Inflamável

Pó capaz de entrar em ignição, quando misturado com ar em certas proporções, como uma nuvem de pó ou capaz de ignição como camada de pó.

Ponto de Fogo

O ponto de fogo é a mínima temperatura em que um vapor acima da superfície liquida contínua a queimar assim que entra em ignição. A temperatura do ponto de fogo é maior que a do ponto de fulgor.

Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor de um liquido é a mínima temperatura em que o liquido se evapora, para formar uma mistura com ar em concentração suficiente para provocar uma ignição, próxima da superfície do líquido. Em inglês, ponto de fulgor é *flash point*.

Prática

Prática é uma série de recomendações de métodos, regras ou projetos, geralmente sobre um único assunto.

Prejuízo (*damage*)

Prejuízo é a severidade da perda física, funcional ou monetária que resulta quando se perde o controle do perigo.

Pressurização

Um método de salvaguarda onde ar ou gás inerte, em um invólucro ou sala, é mantido em uma pressão suficiente para evitar o ingresso da atmosfera vizinha que poderia ser inflamável.

Quando apropriado, a pressurização pode ser fornecida por um sistema de ventilação mecânica.

Proteção Especial

Tipo de proteção aplicada a equipamento elétrico que não satisfaz as exigências dos tipos de proteção especificados em BS 4683, mas que pode ser mostrada, por teste, que pode ser usada em atmosferas inflamáveis.

Prova de

Palavra chave na classificação mecânica de invólucros da NEMA, que significa funcionar na presença de.

Prova de Chama

Termo aplicado a um invólucro para equipamento elétrico que suporta uma explosão interna do gás ou vapor inflamável específico que pode entrar nele, sem sofrer dano e sem comunicar a explosão interna para a atmosfera externa, resfriando a chama através de junta ou abertura estrutural no invólucro. Equivalente a **prova de explosão**.

Prova de Explosão

Termo aplicado a um invólucro para equipamento elétrico que suporta uma explosão interna do gás ou vapor inflamável específico que pode entrar nele, sem sofrer dano e sem comunicar a explosão interna para a atmosfera externa, tendo uma estrutura física que não se deforma ou quebra com a explosão. Equivalente a **prova de chama**.

Prova de tempo

Dispositivo que funciona na presença do tempo ou intempérie. Equipamento com proteção de invólucro que pode ser montado ao ar livre, sem proteção adicional.

PTB

Physikalisch **T**echnische **B**undesanstalt

Órgão alemão para emissão de normas e realização de testes de certificação de equipamentos.

Purga

Um método de salvaguarda onde uma vazão de ar ou gás inerte, é mantida em um invólucro ou sala, em quantidade suficiente para reduzir ou evitar qualquer perigo que poderia aparecer, na ausência da purga. Reduzir neste contexto, significa reduzir o risco que uma atmosfera inflamável irá ocorrer, assim permitindo o uso de equipamento elétrico com uma menor norma de salvaguarda. Quando o objetivo é evitar o perigo suficiente, deve se considerar a maior probabilidade de liberação de material inflamável dentro da sala ou do invólucro.

Quando apropriado, a pressurização pode ser fornecida por um sistema de ventilação mecânica forçada ou induzida.

Regulação

Regulação é um conjunto de ordens publicadas para controlar a conduta de pessoas dentro da jurisdição da autoridade reguladora.

Resistente a

Palavra chave na classificação mecânica de invólucros da NEMA, que significa não se danificar na presença de.

Respiração Restrita

Invólucro que não é hermeticamente selado mas que é projetado para evitar ou restringir a entrada de gases e que é capaz de passar no teste correspondente à norma BS 4683, parte 3. É aplicado principalmente a conexões de lâmpadas para evitar que a atmosfera inflamável entre em contato com a superfície quente da lâmpada.

Risco (*risk*)

Expressão da possível perda de segurança, durante determinado intervalo de tempo ou número de ciclos operacionais.

Segregação

Método de salvaguarda onde barreiras impermeáveis e resistentes a fogo são usadas para criar uma zona de menor risco ou uma área não classificada em que equipamento elétrico com classificação mais baixa possa ser usado.

Segurança (*safety*)

Segurança é a ausência de perigo.

A segurança é um assunto de proteção relativa à exposição ao perigo. Segurança é o contrario de risco de perigo.

Segurança aumentada

Método de proteção onde são tomadas medidas adicionais no equipamento elétrico de modo a lhe dar segurança contra a possibilidade de temperatura excessiva e da ocorrência de arcos e faíscas durante a operação do equipamento. Ele se aplica apenas a equipamento elétrico cujas peças não produzem arco ou faísca e que não exceda os limites de temperatura, em operação normal.

Segurança Intrínseca

Um circuito é intrinsecamente seguro quando, sob condições normais de operação ou no evento de uma (ou duas) falha(s), ele não causa a ignição ou explosão de uma mistura combustível por causa de faísca elétrica ou efeito termal em condições de teste determinadas. O conceito de segurança intrínseca se refere ao circuito inteiro.

Selagem

Técnica de proteção onde o invólucro do equipamento elétrico hermeticamente fechado ou selado, de modo que a atmosfera perigosa não pode entrar em seu interior e em contato com a fonte de energia contida nele. Proteção Ex h.

Selo

Dispositivo que cria uma união não vazante entre dois elementos mecânicos. Dispositivo que evita a entrada ou perda de um gás em um container. Junta ou fechamento perfeito e rigoroso.

Técnica de Proteção

Cuidados especiais de projeto, construção e instalação que um instrumento elétrico deve exibir, quando seu local de montagem for uma área perigosa ou classificada. Exemplos de técnicas de proteção: prova de explosão, purga e segurança intrínseca.

Temperatura de auto-ignição

Uma temperatura fixa acima da qual uma mistura inflamável é capaz de extrair energia suficiente do ambiente para entrar em combustão espontaneamente.

Temperatura de ignição

A temperatura de ignição é a menor temperatura da fonte de ignição em que uma mistura gás combustível e ar pode entrar em ignição e continuar a queimar sem calor adicional.

Temperatura de ignição de uma atmosfera explosiva de gás

A temperatura de ignição de uma atmosfera explosiva de gás é a menor temperatura de uma superfície aquecida em que, sob condições especificadas, ocorre a ignição de uma substância inflamável na forma de um gás ou vapor em mistura com o ar.

Temperatura de queima lenta

A mínima temperatura em que uma superfície aquecida exposta pode provocar a ignição de uma camada de pó de 5 mm. Em camadas mais espessas, pode ocorrer também a queima lenta sem chama sob esta temperatura de ignição

Terra

Por definição, ponto onde a tensão é 0 V. Caminho condutor, intencional ou acidental, entre um circuito elétrico ou equipamento e o Terra. Mesmo que conexão de terra. Em inglês, *earth* ou *ground*.

Totalmente Fechado

Termo aplicado a equipamento dentro de um invólucro que é construído de tal modo que o risco de entrada de atmosfera inflamável que o envolve por um curto período de tempo é pequeno.

UL

Underwriters **L**aboratories Inc. Laboratório americano de certificação e testes.

Unidade de Isolação

Dispositivo análogo a uma barreira zener, usado em sistema intrinsecamente seguro

para limitar a potência entregue da are segura para a área perigosa e para isolar (galvanicamente ou opticamente) as áreas.

Uso Geral

Classificação default de instrumento elétrico que pode ser usado apenas em local seguro, pois não possui nenhuma técnica de proteção adicional.

Ventilação

A ventilação é um parâmetro fundamental na classificação de área, servindo até como meio de desclassificar uma área perigosa. As definições apresentadas na norma NBR 8370 são:

Ambiente adequadamente ventilado

Sala, prédio ou invólucro de equipamento que possui ventilação natural ou artificial.

Ambiente com ventilação natural

Ambiente que não possui nenhum obstáculo ao movimento do ar.

Ambiente com ventilação limitada

Ambiente que possui obstáculos que dificultam, porém não impedem a circulação natural do ar.

Ambiente com ventilação impedida

Ambiente com ausência de movimentação do ar e como conseqüência, existe a probabilidade de acúmulo de gases ou vapores inflamáveis.

Ambiente com ventilação artificial

Ambiente com sistema artificial de insuflamento de ar para evitar a formação de mistura inflamável. O sistema artificial de insuflamento deve ser capaz de efetuar, no mínimo, 12 trocas de ar por hora ou capaz de fornecer um fluxo de ar de 0,46 m^3/min por m^2 de área de piso do ambiente considerado, o que for maior, nas condições de pressão atmosférica e temperatura entre -10 e 40 ^oC.

Zona

Parâmetro de classificação de área perigosa associado com a probabilidade da presença da mistura explosiva no local, usado pela IEC.

Zona é equivalente a Divisão (EUA).
O IEC reconhece três zonas: 0, 1 e 2.

Zona 0

Local onde a presença da mistura perigosa é contínua e portanto a probabilidade da sua presença é de 100% ou 1. Exemplo: interior de um tanque com líquido volátil.

Zona 1

Local de alta probabilidade relativa de haver mistura perigosa no local ou quando é possível haver mistura explosiva em condição normal e anormal do processo. A soma de Zona 0 e Zona 1 é equivalente à Divisão 1 (NEC).

Zona 2

Local de baixa probabilidade relativa de haver mistura perigosa no local ou quando é possível haver mistura explosiva apenas em condição anormal do processo e por períodos curtos de tempo.

Zona 2 é equivalente a Divisão 2.

Zona 20

Área estabelecida pelo IEC em que uma atmosfera de gás explosivo na forma de nuvem de pó no ar está presente constantemente ou por longo período e o pó deposita em uma espessura grande ou indeterminada.

Zona 21

Área estabelecida pelo IEC em que uma atmosfera de gás explosivo na forma de nuvem de pó no ar é muito provável de estar presente, nas condições normais do processo e em que há depósito ou camada de pó combustível.

Zona 22

Área estabelecida pelo IEC em que uma atmosfera de gás explosivo na forma de nuvem de pó no ar é provável de estar presente somente nas condições anormais do processo, por períodos curtos de tempo e em que há depósito ou camada de pó combustível.

Referências Bibliográficas

Normas de Laboratórios e Institutos

1. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

1.1. NBR 5363- Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Invólucros a prova de explosão - Tipo de proteção "d". (Baseada na IEC 79-1).
1.2. NBR 5410, Procedimento: Instalações elétricas de baixa tensão.
1.3. NBR 6146, DEZ 80, Especificação: Invólucros de equipamentos elétricos - Proteção. (Baseada na IEC 529/76).
1.4. NBR 8368, Classificação: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Temperatura máxima de superfície.
1.5. NBR 8369, Procedimento: Marcação de equipamentos elétricos para atmosferas explosivas.
1.6. NBR 8370, JAN 84, Terminologia: Equipamentos e instalações elétricas para atmosferas explosivas (Baseada na IEC 31 S123).
1.7. NBR 8446, ABR 84, Especificação: Aparelho de faiscamento para ensaio de circuitos intrinsecamente seguros. (Baseada na IEC 79-3).
1.8. NBR 8447, ABR 84, Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Construção e ensaio de equipamentos elétricos de segurança intrínseca e do equipamento associado - Especificação. (Baseada na IEC 79-11).
1.9. NBR 8601 - Equipamentos elétricos imersos em óleo para atmosferas explosivas (Baseada IEC 79-6).
1.10. NBR 9518, SET 86, Especificação: Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Requisitos gerais. (Baseada na IEC 79-0/83).
1.11. NBR 9883 - Equipamentos elétricos para atmosferas explosivas - Segurança aumentada - Tipo de proteção "e". (Baseada na IEC 79-7).
1.12. NBR 9884 - Maquinas elétricas girantes - Graus de proteção proporcionadas pelos invólucros. (Baseada na IEC 34-5).
1.13. NBR 10861 - Prensa cabos. (Baseada na BS 6121).

2. API (American Petroleum Institute)

2.1. Classification of Áreas for Electrical Installation at Petroleum Refineries, API RP 500-A, 1973.
2.2. Classification of Áreas for Electrical Installations at Production Facilities, API RP 500-B, 1973
2.3. Classification of Areas for Electrical Installations at Petroleum and Gás Pipeline, API RP 500-C, 1973.
2.4. Electrial Installation in Petroleum Processing Plants, API RP 540, Feb.1974.
2.5. Safe Maintenance Practices in Refineries, API Bull 2007, Dec.1962

3. IEC (International Electrotechnical Commission)

3.1. Electrical Apparatus for the Detection and Measurement of Flammable Gases – Part 1: General Requirements and Test Methods. IEC 61 779p1

4. ISA (Instrument Society of America)

4.1. Electrical Apparatus for Use in Class I, Zones 0 and 1 Hazardous (Classified) Locations: General Requirements, ISA S12.0.01, 1998 (IEC 79-0 MOD)
4.2. Electrical Apparatus for Use in Class I, Zones 1 and 2, Hazardous (Classified) Locations: Type of Protection – Increased Safety “e”, ISA S12.16.01, 1998 (IEC 79-7 MOD).
4.3. Electrical Apparatus for Use in Class I, Zone 1, Hazardous (Classified) Locations: Type of Protection – Flameproof “d”, ISA S12.16.01, 1998 (IEC 79-1 MOD).
4.4. Electrical Apparatus for Use in Class I, Zone 1, Hazardous (Classified) Locations: Type of Protection – Encapsulation “m”, ISA S12.23.01, 1998 (IEC 79-18 MOD).
4.3. Recommended Practice for Classification of Lacations for Electrical Installations Classified as Class I, Zone 0, Zone 1, or Zone 2, ISA S12.24.01, 1998 (IEC 79-10 MOD).
4.5. Electrical Apparatus for Use in Class I, Zone 1, Hazardous (Classified) Locations: Type of Protection – Powder Filling “q”, ISA S12.25.01, 1998 (IEC 79-5 MOD).
4.7. Electrical Apparatus for Use in Class I, Zone 1, Hazardous (Classified) Locations: Type of Protection – Oil Immersion “o”, ISA S12.26.01, 1998 (IEC 79-6 MOD).

5. NACE (National Association of Corrosion Engineers)

5.1. Material Requirement - Sulfide Stress Cracking Resistant Metallic Material for Oil Field Equipment, MR-01-75

6. NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

6.1. Enclosures for Industrial Controls and Systems", Pub. ICS 6-1978.

7. NFPA (National Fire Protection Association)

7.1. National Electrical Code, 1978, Boston, NFPA, 1977
7.2. Hazardous Locations Classification, NFPA-700, 1974
7.3. Intrinsically Safe Process Control Equipment for the Hazardous Locations, NFPA-493, 1975
7.4. Purged Enclosures for Electrical Equipment, NFPA-496, 1967
7.5. Classification of Class I Hazardous Locations for Electrical Installations in Chemical Plants, NFPA 497, 1975

8. RIIS (Research Institute of Industrial Safety)

8.1. Recommended Practice for Explosion-Protected Electrical Installations in General Industries, 1979

9. UL (Underwriting Laboratories)

9.1. Industrial Control Equipaments for Use in Hazardous Locations, UL SS-698
9.2. Outlet Boxes and Fittings for Use in Hazardous Locations, Class I Group A, B, C, D, Class II, E, F, G

10. Livros

01. **Crowl, D.A. & Louvar, J.F.,** Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990.
02. **Garside, R**., Intrinsically Safe Instrumentation, Research Triangle Park, ISA, 1982.
03. **Hammer, W.**, Occupational Safety Management and Engineering, 4a. ed., Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1989.
04. **Kletz, T. C**., What Went Wrong?, 2ª ed., Houston, Gulf Pub. Co, 1988.
05. **Laney, J.C.**, Site Safety, Hong Kong, Astros Printing, 1982.
06. **Lees, F. P**., Loss Prevention in the Process Industries, 2 vol, London, Butterworths, 1986.
07. **Magison, E. E**., Intrinsic Safety, Research Triangle Park, ISA, 1984.
08. **Magison, E. E**., Electrical Instruments in Hazardous Locations, 3rd.ed., 1978, Pittsburg, ISA.
09. **Redding, R. J**., Intrinsic Safety, London, McGraw Hill, 1971
10. **Schram, P. J. & Earley, M. W**., Electrical Installations in Hazardous Locations, Quincy, NFPA, 1988.
11. **Traister, J**., Electrical Inspection Guide Book, Reston, Prentice Hall, 1979
12. **Tuve, R. L.**, Principles of Fire Protection Chemistry, Boston, NFPA, 1976.

Catálogos de Fabricantes

01. **Elcon** Instruments, Inc. – Introduction to Intrinsic Safety, 1992.
02. **MTL**, Instrumentation for Hazardous Areas, Catalogue 1994-5
03. **Pepperl+Fuchs Mannheim**, Proximity switches - Overview, 1987.
04. **Sense**, Segurança Intrínseca: Princípios e Fundamentos, 1994.
05. **Stahl**, Electronic modules for intrinsic safety, Abr 1986.