



APONTAMENTOS PARA PROJECTO DE INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS II

ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

L. Sousa Martins
Setúbal, Março de 2005

ÍNDICE

PREFÁCIO	iv
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - PREÂMBULO	1
1.2 – REDES DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA	2
1.3 – METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DOS PROJECTOS	4
1.4 – LEGISLAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS PROJECTOS	5
2 – POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO	6
2.1 – INTRODUÇÃO	6
2.2 – TOPOLOGIAS TIPO	7
2.2.1 - Posto de Transformação Público	9
2.2.2 - Posto de Transformação Cliente	11
2.2.3 – Sinalização e Encravamento das Celas	12
2.3 – EQUIPAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO	12
2.3.1 – Características Gerais	12
2.3.2 – Aparelhos de Manobra e de Protecção	13
2.3.3 – Transformadores de Medida	14
2.3.4 – Transformadores de Potência	17
2.4 – QUADROS GERAIS DE BAIXA TENSÃO	18
2.4.1 – Quadro de baixa tensão para Posto de Transformação Público	18
2.4.2 – Quadro de baixa tensão para Posto de Transformação Cliente	18
2.5 – ASPECTOS CONSTRUTIVOS	20
2.5.1 – Atravancamentos	20
2.5.2 – Ventilação Natural	21
2.5.3 – Equipamentos Acessórios	22

3 – DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO DE MÉDIA TENSÃO	23
3.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS	23
3.2 – CORRENTES NOMINAIS E CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO	23
3.2.1 – Intensidade de Corrente Nominal.....	23
3.2.2 – Intensidade de Corrente de Curto-circuito	24
3.3 – BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO	25
3.3.1 - Esforços Electrodinâmicos	25
3.3.2 - Ressonância no Barramento.....	27
3.4 – CABOS DE MÉDIA TENSÃO	28
4 – COMPENSAÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA.....	30
4.1 – GENERALIDADES.....	30
4.2 – CONSTITUIÇÃO DE UMA BATERIA DE CONDENSADORES	32
4.2.1 - Constituição das Unidades Centralizadas	32
4.2.2 - Características Técnicas	32
4.3 – DIMENSIONAMENTO DA BATERIA DE CONDENSADORES	33
4.3.1 – Cálculo da Potência Reactiva Nominal	33
4.3.2 – Dimensionamento da Protecção e do Cabo Eléctrico.....	34
5 – SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA DE EMERGÊNCIA	35
5.1 – INTRODUÇÃO	35
5.2 – CARACTERÍSTICAS NOMINAIS E FUNCIONAMENTO	36
5.2.1 – Potência e Velocidade	36
5.2.2 – Condições de Funcionamento.....	36
5.3 – EQUIPAMENTOS CONSTITUINTES.....	37
5.3.1 – Grupo Motor-Alternador.....	37
5.3.2 - Sistema de Arrefecimento	37
5.3.3 - Armazenamento e Alimentação de Combustível	38
5.3.4 - Sistema de Escape.....	38
5.4 – INSTALAÇÃO DOS GRUPOS.....	39

5.5 – ELEMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO	40
5.5.1 – Potência Nominal do Grupo	40
5.5.2 – Corrente de Curto-circuito	41
5.5.3 – Capacidade da Cisterna	42
6 – SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA DE SOCORRO	44
6.1 - INTRODUÇÃO	44
6.2 – CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UPS	44
6.2.1 – Elementos constituintes.....	44
6.2.2 – Regimes de Funcionamento.....	46
6.3 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	46
6.4 – ELEMENTOS DE DIMENSIONAMENTO.....	47
6.4.1 – Potência Nominal das UPS	48
6.4.2 – Protecção e Alimentações Eléctricas	48
BIBLIOGRAFIA.....	50

PREFÁCIO

Este texto, que resultou do ensino ministrado ao longo dos anos na Escola Superior de Tecnologia de Setúbal (ESTSetúbal), visa apresentar os critérios e técnicas para a análise e dimensionamento das Instalações Eléctricas de Utilização, com o nível apropriado aos cursos de bacharelato/licenciatura em Engenharia Electrotécnica.

Visa também dotar os alunos de conhecimentos mínimos que lhes permitam assumir no futuro o papel de técnicos responsáveis por Instalações Eléctricas, perante a Direcção Geral de Energia (DGE) em qualquer das funções: de Concepção, de Execução e de Exploração.

O projecto de Instalações Eléctricas de Utilização compreende a concepção e definição de um conjunto de sistemas e equipamentos cujo objectivo é a disponibilização da energia eléctrica ao nível da utilização de um determinado consumidor, quer seja em baixa tensão (400/230 V), quer seja em média tensão ($< 30\text{kV}$).

Nos Apontamentos para Projecto de Instalações Eléctricas 2, referem-se em particular os sistemas e equipamentos que permitem a transformação da energia eléctrica da rede de distribuição de média tensão (30 kV, 15kV e 10 kV) para os níveis de utilização de baixa tensão.

Estudam-se os sistemas e equipamentos que garantem o fornecimento de energia eléctrica em caso de falha da rede de distribuição pública, como por exemplo os grupos electrogéneos e as unidades estáticas de alimentação de energia sem interrupção.

Estudam-se também os sistemas que permitem a compensação de energia reactiva, nomeadamente pela aplicação de baterias de condensadores.

Considera-se em particular a elaboração do Projecto de Licenciamento para pequenas Instalações de Edifícios do tipo Industrial.

Nos Apontamentos para Projecto de Instalações Eléctricas 1, apresentaram-se os sistemas que utilizam a energia eléctrica em baixa tensão (400/230 V), com particular incidência para a elaboração do Projecto de Licenciamento das Instalações de Edifícios do tipo Residencial.

1 – INTRODUÇÃO

1.1 - PREÂMBULO

A escolha do modo de alimentação de energia eléctrica a um determinado consumidor, nomeadamente quanto ao tipo da fonte, depende de diversos factores, entre os quais são de referir a potência, o nível de tensão necessário e a função das cargas a alimentar. Estas podem classificar-se em função do grau de exigência quanto à garantia da continuidade de serviço em: cargas normais, cargas de emergência e cargas críticas.

Consideram-se **cargas normais** as que não apresentam exigências especiais quanto à garantia de fornecimento de energia e, portanto, podem admitir pequenas interrupções de serviço sem que se comprometa a normal exploração da instalação.

As cargas normais são habitualmente alimentadas pela rede de distribuição pública quer em baixa tensão (BT) quer em média tensão (MT). A decisão entre alimentação em BT ou MT depende da potência total instalada e das características da rede pública local. Depende também das necessidades específicas da carga quanto ao nível da tensão de serviço. No entanto, para potências iguais ou superiores a 250 kVA é consensual em Portugal que a alimentação seja realizada em média tensão.

A opção pela MT obriga à instalação de **Postos de Transformação (PT)**. Estas instalações são classificadas, para efeitos de licenciamento, como de 2ª categoria.

As **cargas de emergência**; exigem que haja continuidade de fornecimento de energia eléctrica admitindo, contudo, interrupções de muito curta duração (da ordem de alguns segundos). As cargas de emergência são garantidas por redes de emergência com origem em **Grupos Geradores (GE)**. Estas instalações são classificadas, para efeitos de licenciamento, como de 1ª categoria.

As **cargas críticas** exigem continuidade no fornecimento de energia eléctrica não admitindo qualquer período de interrupção por mais reduzido que seja, sob pena de comprometer a normal exploração da instalação. As cargas críticas são garantidas por redes socorridas com origem em **Unidades Estáticas de Alimentação de Energia sem Interrupção (UPS)**.

1.2 – REDES DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

A estrutura das redes de alimentação das instalações eléctricas de edifícios de serviço particular, é função das condições de fornecimento de energia. É também, função das características dos receptores e da continuidade de serviço pretendida. Tendo por base a classificação das cargas definidas no ponto anterior podem então definir-se essencialmente três tipos distintos de redes: normal, emergência e socorrida.

As **redes de alimentação normal** têm origem no quadro de baixa tensão dos Postos de Transformação. Tipicamente alimentam os circuitos de iluminação normal, circuitos de tomadas e de força motriz, os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado.

As **redes de alimentação de emergência** têm origem no quadro de baixa tensão quadro de baixa tensão do Grupo de Emergência. Tipicamente alimentam os circuitos de iluminação de emergência, sinalização de saída, elevadores, ventilação de segurança, bombagem de incêndios, bombagem de água e de esgotos, câmaras frigoríficas, etc..

Numa estrutura típica estes sistemas alimentam o quadro geral de baixa tensão, designado por QGBT, que por sua vez distribui a energia eléctrica a quadros principais de área, ou de piso, ou de central técnica específica (por exemplo quadros de ar condicionado, quadros de centrais de bombagem). Os quadros principais podem, por sua vez, distribuir a energia eléctrica a outros quadros designados por secundários ou quadros parciais.

As **redes de alimentação socorrida** têm origem no quadro eléctrico associado às UPS. Tipicamente alimentam os circuitos de iluminação de socorro, centrais de segurança, os equipamentos e sistemas informáticos, salas de operação hospitalar ou similar. Têm origem no quadro eléctrico associado às UPS.

A **estrutura das redes normal e emergência**, pode apresentar as configurações seguintes:

- ❑ **Estrutura totalmente independente**, isto é, redes de distribuição normal e emergência completamente distintas, com origem em diferentes barramentos do QGBT (fig. 1.1);
- ❑ **Estrutura integrada, com deslastre local**, isto é, redes de distribuição normal e emergência distintas, mas com origem no mesmo barramento, sendo feito o deslastre das cargas normais na situação de falha da rede normal (fig. 1.2).

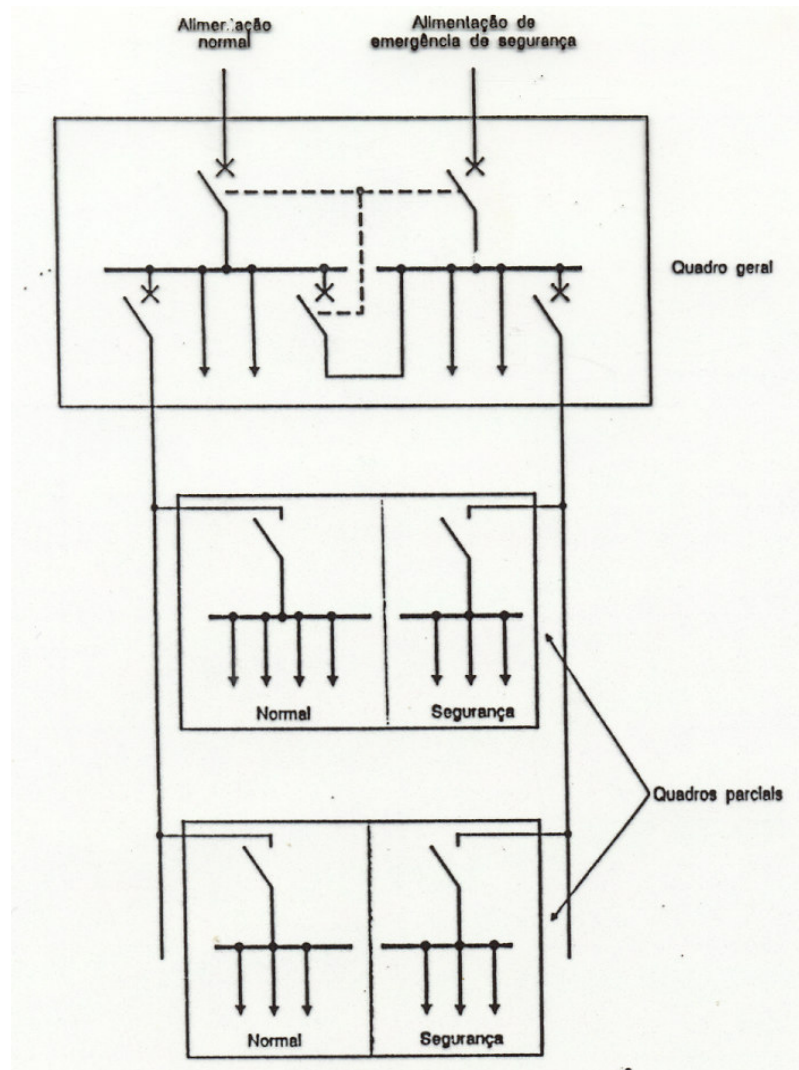


Figura 1.1: Estrutura totalmente independente.

A estrutura da **rede de cargas críticas** pode ser de dois tipos:

- ❑ **Estrutura centralizada**, na qual se considera um sistema de UPS alimentando um único quadro que distribui, por exemplo, para o barramento de cargas críticas do QGBT, que por sua vez fará a distribuição para os outros quadros;
- ❑ **Estrutura descentralizada**, na qual cada zona ou área específica possui o seu próprio sistema de UPS, ligado directamente ao quadro principal dessa zona.

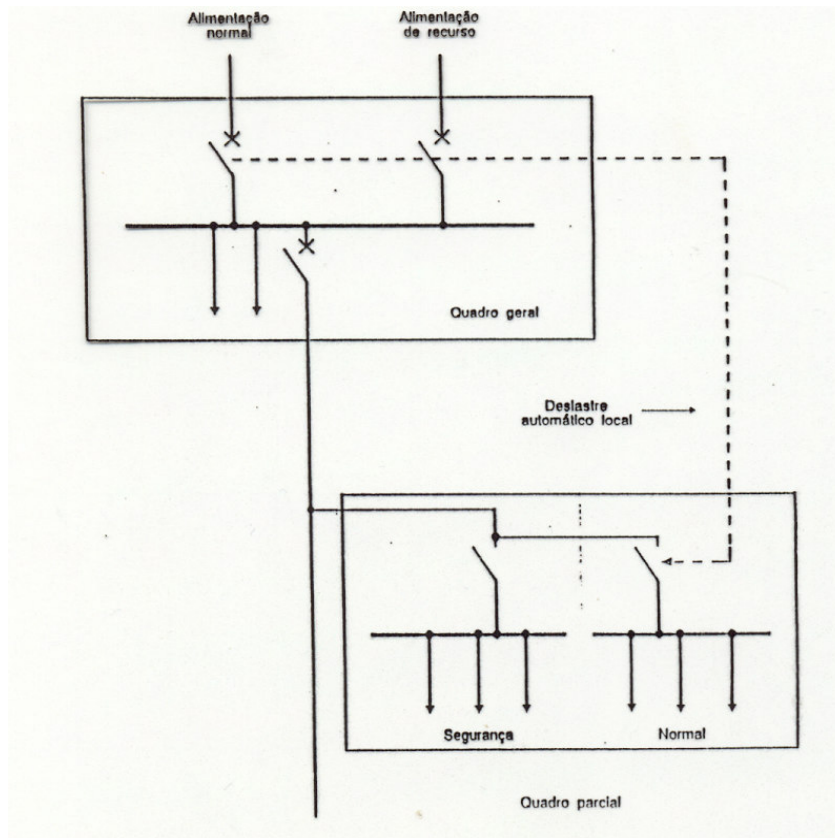


Figura 1.2: Estrutura integrada com deslastre local.

1.3 – METODOLOGIA PARA A ELABORAÇÃO DOS PROJECTOS

A elaboração dos projectos de pequenas instalações eléctricas de tipo fabril, que pelas suas características específicas incluem a instalação de um posto de transformação, de um grupo de emergência e de uma UPS, passa por um conjunto de etapas que se podem sintetizar do modo seguinte:

- 1) Definição dos espaços do ponto de vista da sua utilização e da potência instalada, considerando as máquinas e equipamentos eléctricos e os circuitos de iluminação e tomadas;
- 2) Definição e localização dos quadros eléctricos e estabelecimento das respectivas zonas de influência;
- 3) Definição e cálculo das potências dos diferentes tipos de redes;
- 4) Localização das centrais técnicas: PT, GE e UPS;

- 5) Traçado das redes eléctricas, e dos esquema unifilares dos quadros eléctricos;
- 6) Concepção do posto de transformação;
- 7) Definição da compensação do factor de potência;
- 8) Concepção do grupo de emergência e da UPS.

1.4 – LEGISLAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS PROJECTOS

A elaboração dos projectos relativos aos Postos de Transformação (2ª categoria) e às Centrais de Emergência (1ª categoria), deverão obedecer a um conjunto de normas e regulamentos que se indicam.

- Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Eléctrica (RSIUEE) e Regulamento de Segurança das Instalações Colectivas de Edifícios e Entradas (RSICEE), ambos publicados no Dec.-Lei 740/74 e Dec.-Lei 303/76;
- Regulamento de Subestações e Postos de Seccionamento e de Transformação (Dec.-Lei nº 42895, de 31.3.1960 e Dec. Reg. nº 14/77 e nº 56/85 e Portaria nº37/70);
- Regulamento de Redes de Distribuição de Baixa Tensão (Dec.-Reg. nº 90/84).

Cada um destes projectos deve ser objecto de processo individual de licenciamento junto da DGE – Direcção Geral de Energia, sendo constituídos pelo conjunto de elementos seguintes:

- Fichas electrotécnicas e termo de responsabilidade.
- Memória descritiva e justificativa com a descrição geral das instalações e apresentação dos cálculos de dimensionamento dos circuitos de alimentação;
- Planta de localização do edifício, com indicação do ramal de alimentação de média tensão e o local do PT;
- Diagramas de princípio e esquemas unifilares de quadros eléctricos;
- Plantas, cortes e alçados à escala 1/20 com implantação dos equipamentos do posto de transformação e do grupo de emergência;
- Plantas à escala apropriada (tipicamente 1/100), com o traçado de circuitos e a implantação de aparelhagem e equipamentos.

2 – POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

2.1 – INTRODUÇÃO

De acordo com as definições constantes no Regulamento de Segurança de Subestações, Postos de Transformação e Seccionamento, considera-se:

- ❑ **Postos de Transformação (PT)**, as instalação de alta tensão cuja função é a transformação da corrente eléctrica por um ou mais transformadores, sendo a corrente secundária utilizada directamente pelos receptores;
- ❑ **Postos de Seccionamento (PS)**, as instalação de alta tensão cuja função é a manobra e seccionamento de linhas eléctricas;
- ❑ **Postos de Seccionamento e Transformação (PST)**, as instalações de alta tensão que asseguram as duas funções.

Os postos de transformação podem classificar-se em função do modo de construção, quanto à forma e como é efectuada a entrada de energia eléctrica, e quanto à topologia da rede de distribuição onde é inserido.

➤ Quanto ao modo de construção:

- ❑ Em **poste**; todo o equipamento de média tensão é colocado em postes, são utilizados nas redes rurais com tensões até 15 kV. Existem dois tipos normalizados pela DGE – Direcção Geral de Energia, o tipo CA1 para potências até 250 kVA e o tipo CA2 para potências de 400 a 630 kVA.
- ❑ Em **alvenaria**; todo o equipamento de média tensão é colocado no interior, em celas cujas paredes são construídas em alvenaria e dotadas de portas de rede.
- ❑ Tipo **monobloco**; todo o equipamento de média tensão é colocado no interior de celas constituídas por painéis metálicos pré-fabricados.

➤ Quanto à entrada da alimentação eléctrica:

- ❑ **Aérea**; A entrada de energia em alta tensão é efectuada por linhas aéreas que são amarradas à torre do PT.

- ❑ **Subterrânea**; A entrada de energia em alta tensão é efectuada por cabos eléctricos enterrados.

➤ Quanto à topologia da rede eléctrica:

- ❑ **Radial** (antena); caso em que a alimentação é garantida por uma única entrada:
- ❑ **Anel**; caso em que a alimentação é garantida por duas entradas distintas. A vantagem desta configuração reside no facto de se permitir a alimentação ao PT mesmo que uma das entradas esteja fora de serviço.

Normalmente as redes de distribuição pública são exploradas em anel aberto, isto é, com o seccionador de uma das entradas aberto, para obviar à dificuldade de controlo nos valores mais elevados das correntes de serviço e de curto-circuito, que existe na configuração em anel fechado.

A título de exemplo, apresenta-se na figura 2.1 um posto de transformação de construção em alvenaria com entradas por linhas aéreas e apresenta-se na figura 2.2 uma perspectiva de uma cela de protecção correspondente a um posto de transformação do tipo monobloco.

2.2 – TOPOLOGIAS TIPO

São de considerar dois tipos de topologia:

- ❑ Postos de transformação da rede pública (PTD), que são explorados pela empresa distribuidora de energia eléctrica e que alimentam directamente os consumidores de baixa tensão (fig. 2.3);
- ❑ Postos de transformação cliente (PTC), que são explorados pelo próprio consumidor como cliente directo de média tensão (fig. 2.4).

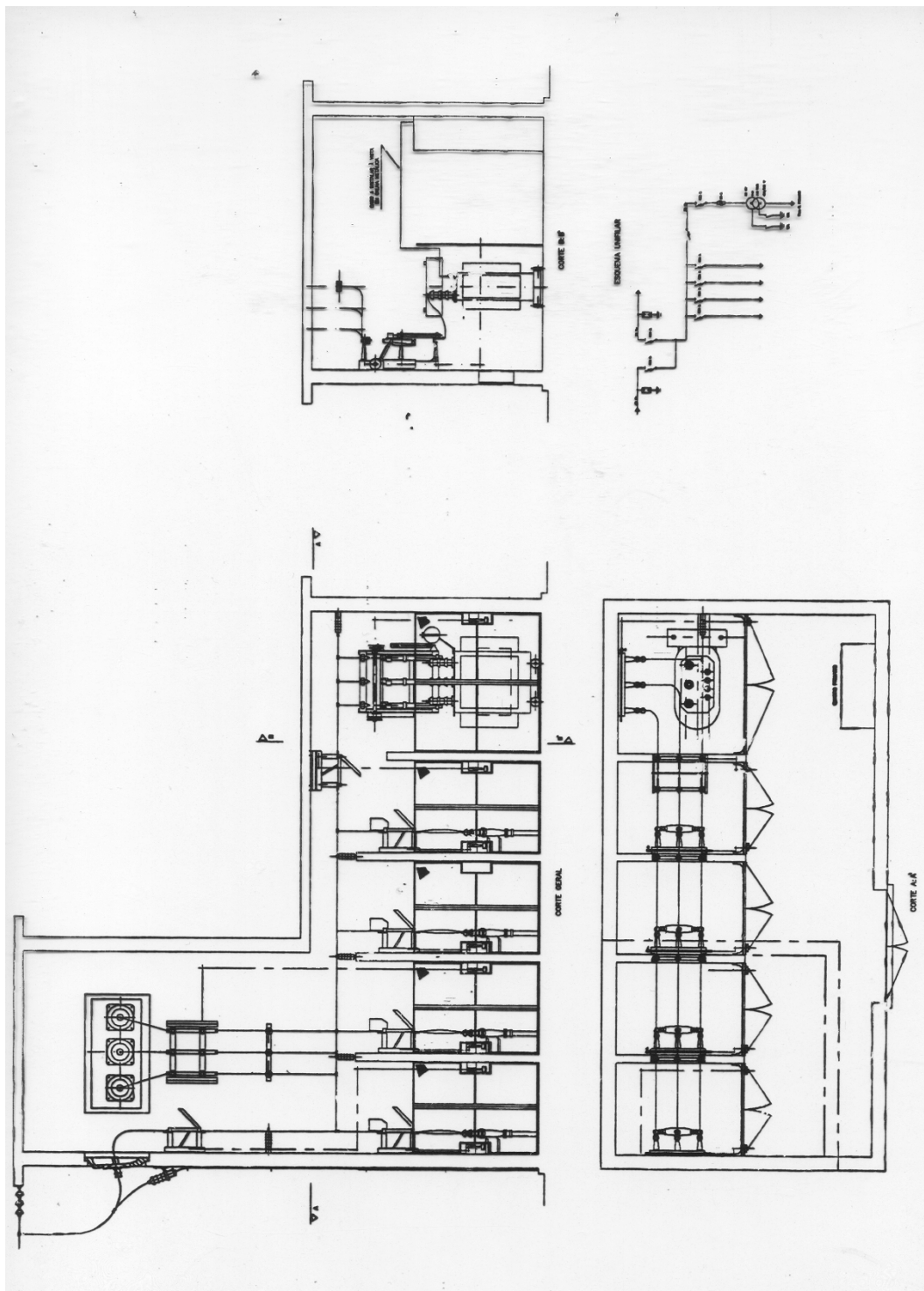


Figura 2.1: Posto de transformação de construção em alvenaria com entradas por linhas aéreas.

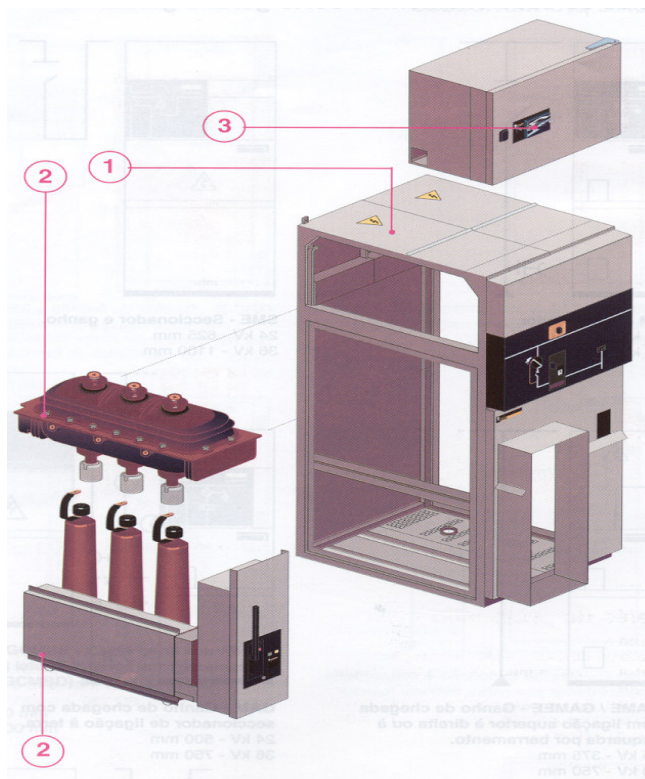


Figura 2.2: Cella (1) de um posto de transformação do tipo monobloco, com isolamento em SF₆, equipada com seccionador (2 superior) e disjuntor (2 inferior), painel com o relé de protecção (3).

2.2.1 - Posto de Transformação Público

Este tipo de posto é frequentemente construído em alvenaria, com ligação em anel e, constituído, no mínimo, por quatro celas (figs. 2.3 e 2.4):

- ❑ Celas de entrada e saída, cada uma equipada com: 1 seccionador tripolar de corte em carga; 1 seccionador de terra; 1 caixa de fim de cabo;
- ❑ Celas de Protecção equipadas com: 1 interruptor tripolar equipado com fusíveis de alta tensão; 1 Relé de protecção directa ou indirecta de máxima intensidade;
- ❑ Celas para os transformadores de potência (tipicamente de 630 kVA).

Faz também parte do PTD o quadro de baixa tensão. Estes são normalmente quadros abertos designados por CA1 ou CA2, respectivamente de 4 ou de 6 saídas equipadas com triblocos de fusíveis.

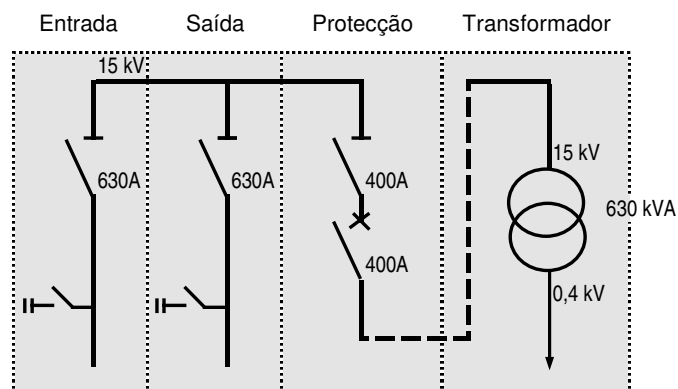


Figura 2.3: Esquema unifilar de um PT Público para 15 kV.

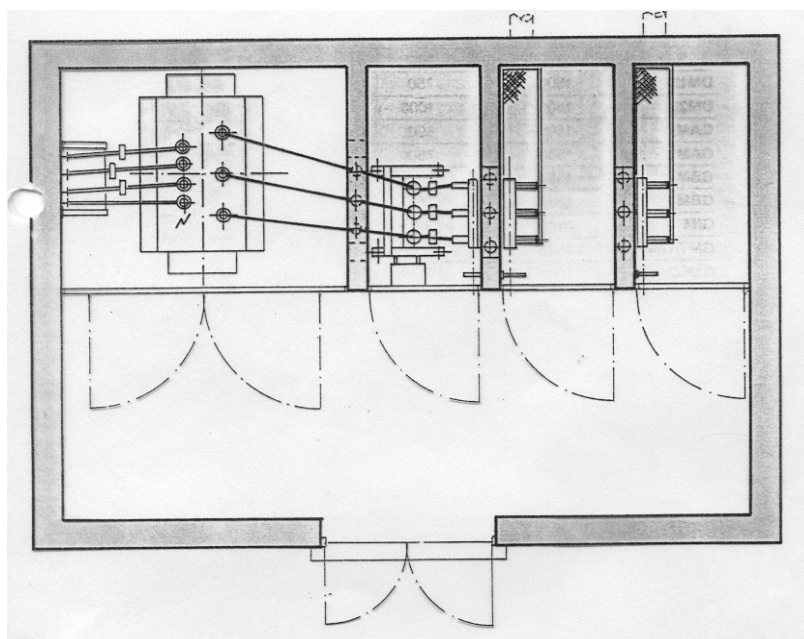


Figura 2.4: Estrutura geral de um PT Público.

2.2.2 - Posto de Transformação Cliente

É normalmente construído quer em alvenaria quer em monobloco, ligação em anel e constituído, no mínimo, por cinco celas (figs. 2.5 e 2.6):

- ❑ Celas de entrada e saída, cada uma equipada com: 1 seccionador tripolar de corte em carga; 1 seccionador de terra; 1 caixa de fim de cabo;
- ❑ Cella de corte geral e contagem, equipada com 1 seccionador tripolar de corte em carga, 3 transformadores de corrente, 2 transformadores de tensão;
- ❑ Celas de Protecção equipadas com: 1 seccionador tripolar, 1 disjuntor tripolar, 1 seccionador de terra, 3 transformadores de corrente, 1 relé de protecção indirecta de máxima corrente;
- ❑ Celas para os Transformadores de Potência.

Faz também parte do PTC o quadro geral de baixa tensão (QGBT), o painel de contagem e o painel para a bateria de condensadores para correcção do factor de potência.

O QGBT é tipicamente um quadro do tipo armário fechado equipado com disjuntores, fusíveis e interruptores.

Caso o posto de seccionamento (PS) esteja fisicamente separado do posto de transformação (PT), é necessário incluir no PS uma cela destinada ao alojamento do aparelho de protecção do cabo de média tensão de interligação.

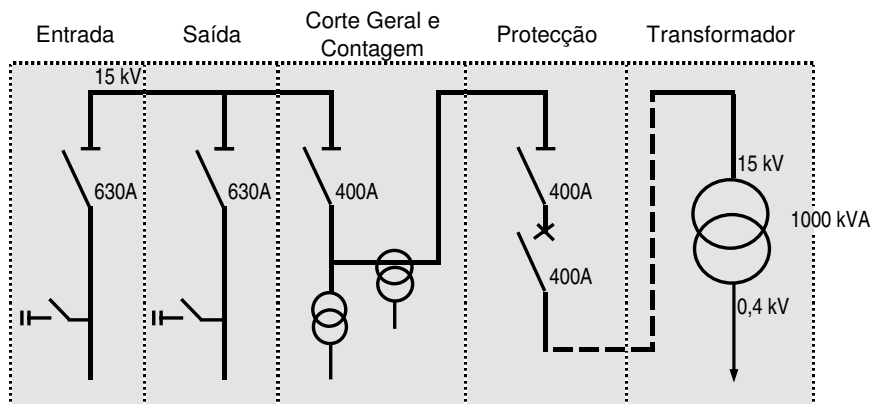


Figura 2.5: Esquema unifilar de média tensão de um PT Cliente de 1000 kVA, 15 kV.

2.2.3 – Sinalização e Encravamento das Celas

De acordo com as disposições regulamentares as celas devem ter sinalização da posição “ligado” e “desligado” da aparelhagem e, no caso de serem do tipo monobloco, devem ser providas de janelas com visores acrílicos, que permitam a visualização dos aparelhos que as equipam. Devem igualmente dispor de encravamentos mecânicos e eléctricos com vista à garantia de protecção de pessoal e equipamento, como por exemplo:

- Encravamento mecânico entre o seccionador das celas de entrada e o respectivo seccionador de terra;
- Impossibilidade de manobra do seccionador cela de corte geral sem que os respectivos disjuntores a jusante estejam encravados na posição de abertos;
- Impossibilidade de abertura das portas da cela de protecção sem que o seu seccionador de terra esteja encravado na posição de fechado;

As celas dos transformadores de potência devem dispor de sinalização luminosa e sonora associada à protecção dos transformadores quanto à elevação da temperatura. Esta sinalização pode estar localizada no quadro geral de baixa tensão.

2.3 – EQUIPAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO

2.3.1 – Características Gerais

As principais características técnicas que definem os equipamentos de média tensão são:

- **Tensão estipulada [kV]:** a tensão do aparelho corresponde ao limite superior de tensão mais elevada da rede onde é instalado.
- **Nível de isolamento:** é definido em função da tensão de ensaio à frequência industrial (50 Hz) expressa em kV_{ef} , e da tensão de ensaio à onda choque 1,2/50 μs expressa em kV_{pico} .
- **Frequência industrial [Hz]:** frequência da rede eléctrica de alimentação.
- **Corrente estipulada [A]:** Intensidade de corrente que atravessa o aparelho sem aquecimento excessivo dos seus componentes.
- **Poder de corte em curto-circuito [kA]:** valor mais elevado da intensidade de

corrente que o aparelho é capaz de interromper.

- **Poder de fecho [kA]:** valor máximo da intensidade de corrente que o aparelho é capaz de manobrar quando do fecho de um circuito.

2.3.2 – Aparelhos de Manobra e de Protecção

Os tipos de aparelhos para manobra e protecção eléctrica, utilizados nos quadros de média tensão são basicamente os seguintes:

- **Seccionador** (de corte em vazio): aparelho cuja função consiste em isolar um circuito. Este aparelho só pode ser manobrado na ausência de corrente. A sua utilização é obrigatória com vista a permitir visualizar e interrupção do circuito nas redes de média e alta tensão;
- **Interruptor** (seccionador de corte em carga): aparelho cuja função é ligar, desligar ou comutar os circuitos eléctricos. Podem ser manobrados quando percorridos por corrente eléctrica de pequena intensidade, não podendo ser manobrados na situação de defeito (tabela 2.1).

Pode ser combinados com **Fusíveis** de alta tensão, permitindo a protecção dos circuitos nas situações de defeito por sobrecarga ou curto-circuito;

Tabela 2.1: Características técnicas de seccionadores e interruptores

Tensão estipulada [kV]	12	17,5	36
Frequência [Hz]	50	50	50
Corrente estipulada [A]	400, 630	400, 630	400
Nível de Isolamento:			
- Ensaio à onda de choque 1,2/50 μ s, em kV_{pico}	75/85	95/110	170/195
- Ensaio à frequência industrial (50 Hz), em kV_{ef}	28/32	38/45	75/100
Poder de corte [A]	400, 630	400, 630	400

- **Disjuntor:** aparelho cuja função é interromper um circuito eléctrico quer em condições normais quer em condições de defeito.

Tabela 2.2: Características técnicas de disjuntores

Tensão nominal [kV]	12	17,5	36
Frequência [Hz]	50	50	50
Corrente Nominal [A]	400, 630	400, 630	400, 630
Nível de Isolamento:			
- Ensaio à onda de choque 1,2/50 μ s, em kV_{pico}	75/85	95/110	170/195
- Ensaio à frequência industrial (50 Hz), em kV_{ef}	28/32	38/45	75/100
Poder de corte [kA]	12, 16, 25	12, 16, 25	16, 25

2.3.3 – Transformadores de Medida

2.3.3.1 – Transformadores de Corrente (TC)

Um transformador de corrente consiste, em princípio, num transformador monofásico cujo primário é atravessado por uma corrente cujo valor se pretende medir e cujo secundário está ligado ao instrumento de medida ou equipamento de protecção.

Estes transformadores são construídos para diferentes correntes primárias e para correntes secundárias de 5 A ou 1 A. A sua relação de transformação é dada pela razão entre as correntes primária e secundária.

As características técnicas que definem os transformador de corrente são as seguintes:

- Tensão de isolamento nominal: a tensão nominal para a qual o transformador foi dimensionado em termos de ensaio das respectivas características dieléctricas, correspondendo ao limite superior de tensão mais elevada da rede onde é instalado.
- Correntes nominais primárias e secundárias: as intensidades das correntes para as quais o transformador foi dimensionado.
- Potência de precisão: a potência aparente (VA) que o transformador pode fornecer ao respectivo circuito secundário sem que os erros ultrapassem os limites de precisão.
- Classe de precisão: fixa os valores limite garantidos dos erros da respectiva relação de transformação.

Tabela 2.3: Transformadores de corrente: características típicas.

Potências de precisão mais usuais [VA]	Relações de transformação típicas [A].					
5, 10, 20, 30, 60, 100	10/5	15/5	20/5	25/5	30/5	40/5
	50/5	60/5	75/5	100/5	125/5	150/5
	200/5	300/5	400/5	500/5	600/5	750/5
	1000/5	1250/5	1500/5	2000/5		

Tabela 2.4: Transformadores de corrente: classes de precisão.

Classes de Precisão		Campo de Aplicação
Medida	cl. 0,1 e cl. 0,5	Medidas e contagens de precisão
	cl. 1 e cl. 3	Medidas e contagens industriais
Protecção	5P10 e 5P15	Relés de sobreintensidade
	5P20	Relés diferenciais e de distância

Por exemplo a cl. 0,5 corresponde a um transformador de corrente para um circuito medida cujo erro máximo será de + 0,5 % para a intensidade de corrente nominal. A classe 5P10 corresponde a um transformador de corrente para um circuito de ligação a um relé cujo erro máximo será de + 5 % para 10 vezes a intensidade de corrente primária.

Para efeitos de protecção dos circuitos secundários contra tensões elevadas, deve ser ligado à terra um dos bornes secundários dos transformadores de corrente.

2.3.3.2 – Transformadores de Tensão (TT)

Os transformadores de tensão são construídos para diferentes tensões primárias dependentes da tensão nominal da rede onde são instalados, admitindo tensões de serviço 1,2 vezes o respectivo valor nominal. As tensões secundárias são de 100 V ou 110 V, no caso de transformadores para tensão composta, e de $110/\sqrt{3}$ V para transformadores de tensão simples.

As características técnicas que definem os transformador de tensão são as seguintes:

- Tensão de isolamento nominal: a tensão nominal para a qual o transformador foi dimensionado em termos de ensaio das respectivas características dieléctricas, correspondendo ao limite superior de tensão mais elevada da rede onde é instalado.
- Relação de transformação: quociente entre tensões primária e secundária.
- Potência de precisão: a potência aparente (VA) que o transformador pode fornecer ao respectivo circuito secundário sem que os erros ultrapassem os limites de precisão.
- Classe de precisão: fixa os valores limite garantidos dos erros da respectiva relação de transformação.
- Potência de aquecimento: potência limite que o transformador pode fornecer ao secundário para a qual o aquecimento provocado nos seus órgãos não ultrapassa os limites admissíveis de segurança de funcionamento.

Tabela 2.5: Transformadores de tensão: características típicas.

Potências de precisão usuais [VA]	Tensões nominais secundárias [V]	Classes de Precisão	Campo de Aplicação
30, 50, 100, 250	100, 110	cl. 0,1 e cl. 0,2	Aparelhagem de laboratório
	110/ $\sqrt{3}$	cl. 0,5	Medidas de precisão
		cl. 1 e cl. 2	Ligação a relés

2.3.4 – Transformadores de Potência

Os transformadores de potência, habitualmente empregues nos postos de transformação são os transformadores trifásicos, com as características típicas constantes da tabela 2.5.

Tabela 2.5: Características nominais dos transformadores de potência, usuais em postos de transformação.

Tipo de montagem	Interior ou exterior		
Tipo de arrefecimento	Natural ONAN ou forçado ONAF		
Potência nominal [kVA]	50; 100 ; 160 ; 200; 250; 315; 400 ; 500; 630 ; 800; 1000; 1250; 1600; 2000		
Nível de isolamento [kV]	12	17,5	36
Tensão nominal primária [kV]	10	15	30
Tensão nominal secundária [V]	400/230		
Frequência [Hz]	50		
Temperatura ambiente máx. [°C]	40		
Grupos de ligação	Dyn5; ou Dyn11		
Tomadas de regulação	±2,5%; ±5%,		
Tipo de isolamento	A óleo com conservador; A óleo hermético	Tipo seco	
Tensão de curto-circuito	4 %, 4,5 %	6 %	
Acessórios de protecção	Termómetro c/ contacto para alarme e disparo; Relé Bucholz (libertação de gases)	Protecção térmica por 2 conjuntos de sondas PTC associadas a conversor electrónico, c/ contactos de saída para alarme e disparo	

Os invólucros metálicos utilizados nos transformadores do tipo seco, são de índice de protecção IP 31 - IK5, têm normalmente protecção contra a corrosão, anéis de elevação, painéis amovíveis de acesso aos terminais do transformador e às tomadas de comutador em vazio, fechaduras e fim de curso para encravamentos eléctricos nos painéis. As ligações à terra das massas metálicas são feitas por trança metálica.

2.4 – QUADROS GERAIS DE BAIXA TENSÃO

2.4.1 – Quadro de baixa tensão para Posto de Transformação Público

Figura 2.6: Esquema unifilar do quadro geral de baixa tensão de um PT Público.

2.4.2 – Quadro de baixa tensão para Posto de Transformação Cliente

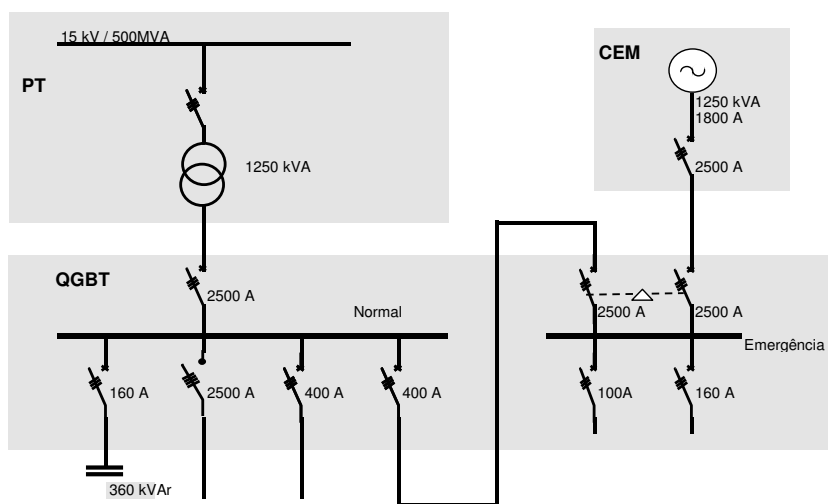


Figura 2.7: Esquema unifilar típico de um quadro geral de baixa tensão de um PT Cliente.

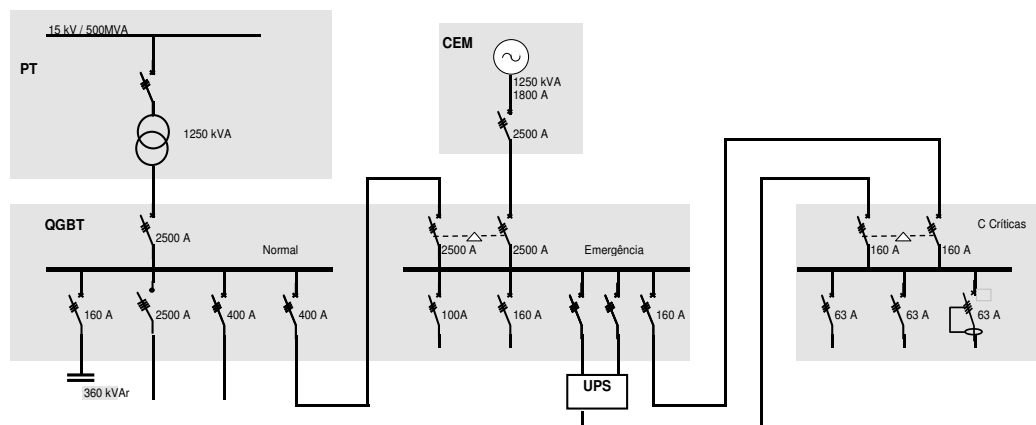


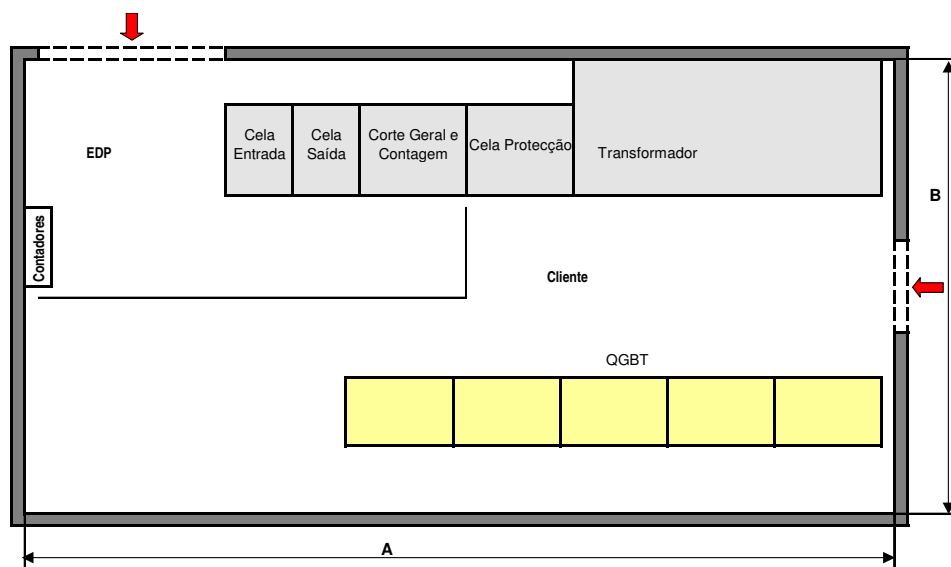
Figura 2.8: Esquema unifilar típico de um quadro geral de baixa tensão de um PT Cliente.

2.5 – ASPECTOS CONSTRUTIVOS

2.5.1 – Atravancamentos

A construção de postos de transformação deverá atender, entre outros, a três factores essenciais: protecção contra contactos accidentais em peças nuas sob alta tensão, distâncias mínimas consentidas de qualquer parte metálica sob alta tensão não protegidas por isolamentos e, ventilação natural das salas ocupadas pelo equipamento.

Os dois primeiros factores são referenciados respectivamente nos art. 73.º, art. 74.º e art. 75.º do Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação.



Dimensões mínimas	Potência instalada (Transformadores)				
	250 a 500 kVA	630 a 1000 kVA	1250 a 2000 kVA	2 x 630 a 1000 kVA	2 x 1250 a 2000 kVA
A	4,7 m	5 m	5,5 m	8,5 m	9 m
B	4 m	4 m	4 m	4 m	4 m
S	20 m ²	26 m ²	28 m ²	40 m ²	46 m ²
H	2,6 m	2,6 m	2,6 m	2,8 m	2,8 m

Figura 2.6: Dimensões para a sala de um PT Cliente, tipo monobloco, isolamento a SF6 a 15 kV.

2.5.2 – Ventilação Natural

No respeitante à ventilação natural pretende-se garantir um ambiente no interior dos PT cujas temperaturas admissíveis para o bom funcionamento dos equipamentos se situem no intervalo $[-5^{\circ}\text{C}; +40^{\circ}\text{C}]$. Para a determinação da área necessária às grelhas de ventilação poderão ser utilizados dois métodos de cálculo.

1º Método - Neste método consideram-se aberturas para ventilação com área de $1\text{m}^2/10\text{ kW}$ de perdas do transformador. Trata-se de um método pouco preciso, mas que permite de modo simples um cálculo relativamente aceitável.

2º Método - Neste método consideram-se aberturas de extracção e de entrada de ar de secções diferentes de modo a aumentar a velocidade de renovação do ar.

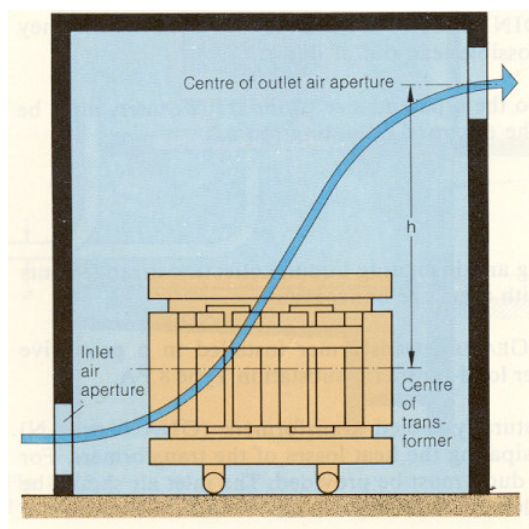


Figura 2.7: Ventilação de um Posto de Transformação.

Assim, se se considerar a grelha de extracção com a secção S , a grelha de entrada de ar terá a secção:

$$S_e = 0,92 \cdot S \quad (2.1)$$

Por sua vez a secção S é determinada a partir da expressão

$$S \geq \frac{0,18 \cdot P}{h} \quad (2.2)$$

onde:

P = Potência de perdas do transformador [kW].

h = Diferença entre as cotas da grelha de entrada de ar e a grelha de extracção [m].

S = Superfície de abertura de extracção [m²].

2.5.3 – Equipamentos Acessórios

Referem-se finalmente, os acessórios para apoio e segurança que, conforme estabelecem os regulamentos, deverão existir nas salas dos PT:

- Tapete um par de luvas de borracha para a tensão nominal de média tensão;
- Lanterna eléctrica portátil, com pilhas recarregáveis;
- Livro de registos das leituras de terra;
- Caixa de primeiros socorros e quadro encaixilhado com a indicação dos primeiros socorros;
- Placas com a designação "PERIGO DE MORTE";
- Colecção de desenhos da instalação e manual de instrução de todos os equipamentos em exploração.

3 – DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO DE MÉDIA TENSÃO

3.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS

O dimensionamento dos equipamentos e cabos de média tensão dos postos de transformação passa pela determinação de vários parâmetros como sejam: o cálculo da intensidade de corrente nominal e da corrente de curto-circuito; a verificação de resistência mecânica de barramentos; a resistência térmica de cabos eléctricos. Para tal é necessário conhecer os parâmetros base da rede de distribuição de média tensão, como sejam:

- Tensão de serviço da rede em média tensão U_I [kV]
- Potência de curto-circuito da rede de média tensão S_{CC} [MVA]

Outros dados são necessários para o dimensionamento do PT, nomeadamente a avaliação da potência necessária alimentar em baixa tensão (400/231V; 50Hz), que condiciona a definição do transformador de potência, nomeadamente a sua potência nominal S_N [kVA] e a sua tensão de curto-circuito u_{CC} [%]

Não se referem os cálculos necessários para a determinação da secção dos condutores de terra de serviço e de protecção dos postos de transformação, dado que o método de cálculo já foi apresentado nos “Apontamentos de Projecto de Instalações Eléctricas I”.

3.2 – CORRENTES NOMINAIS E CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

3.2.1 – Intensidade de Corrente Nominal

A intensidade de corrente nominal prevista para a média tensão I_{IN} é dada por (3.1), sendo S_N a potência total instalada no posto de transformação e U_I o valor tensão de serviço na rede de média tensão.

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_1} \quad (3.1)$$

A intensidade de corrente nominal prevista I_{2N} para a baixa tensão do transformador U_2 será:

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_2} \quad (3.2)$$

3.2.2 – Intensidade de Corrente de Curto-circuito

A corrente de curto circuito prevista para a média tensão é dada por (3.3), sendo I_{1cc} o valor nominal e $I_{pmáx}$ o valor de pico:

$$I_{1cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} U_1} \quad \Rightarrow \quad I_{pmáx} = 1,8 \sqrt{2} I_{1cc} = 2,5 I_{1cc} \quad (3.3)$$

A corrente de curto circuito prevista no secundário do transformador (baixa tensão) é determinada por:

$$I_{2cc} = \frac{U_2}{\sqrt{3} Z_{eq}} \quad (3.4)$$

Onde

$$Z_{eq} = Z_{MT} + Z_{Transf} \quad (3.5)$$

A impedância da rede de MT (Z_{MT}) e a impedância de curto-circuito do transformador (Z_{Transf}), são reduzidas ao secundário (baixa tensão) e determinadas por (3.6).

$$Z_{MT} = 1,1 \frac{U_2^2}{S_{cc}} \quad \wedge \quad Z_{Transf} = u_{cc} \frac{U_2^2}{S_{Transf}} \quad (3.6)$$

3.3 – BARRAMENTOS DE MÉDIA TENSÃO

O cálculo dos barramentos de média tensão é efectuado tendo em atenção as condições de funcionamento da instalação em regime nominal e em situação de curto-circuito trifásico simétrico, e as correspondentes forças electromagnéticas exercidas sobre esses mesmos barramentos. São portanto determinadas as acções dos esforços electrodinâmicos e de ressonância sobre os barramentos.

3.3.1 - Esforços Electrodinâmicos

A força electromagnética F exercida entre as barras condutoras é dada por (3.7) e a tensão mecânica σ suportada pelas barras de secção rectangular, sob acção dessa força por (3.8):

$$F = 0,2 I_{pmáx}^2 \frac{L}{d} \quad (3.7)$$

$$\sigma = \nu \beta F \frac{L}{8\omega} \quad (3.8)$$

Sendo:

F = Força electromagnética [N]

$I_{pmáx}$ = Valor de pico da corrente de curto-circuito trifásico simétrica [kA]

L = Distância entre apoios do barramento no sentido longitudinal [cm]

d = Afastamento entre fases [cm]

σ = tensão mecânica [N/cm²]

ν = Coeficiente função do tipo de corrente, igual a 1 para a corrente alternada

β = Factor de esforço exercido no condutor principal função do material. Para o cobre é igual a 0,73.

ω = Momento resistente função da geometria e do material do barramento [cm³]

σ_o = Tensão limite de deformação elástica [N/cm²]

Em caso de curto-circuito, os esforços máximos admissíveis pelo barramento deverão respeitar a relação (3.9).

$$\sigma \leq 1,5 \sigma_0 \quad (3.9)$$

A tensão limite de deformação elástica σ_0 é:

- para o cobre = 20000 a 25000 N/cm².
- para o alumínio = 2500 a 6000 N/cm²

O momento resistente dos barramentos ω , função da sua geometria, é calculado de acordo com as expressões (3.10) e (3.11):

- para varão de secção circular com diâmetro Φ (tabela 3.1).

$$\omega = \frac{\pi \phi^3}{32} \quad (3.10)$$

- para barras de secção rectangular $a \times b$ (tabela 3.2).

$$\omega = \frac{a b^2}{6} \quad (3.11)$$

Tabela 3.1: Momentos de inércia e momentos resistentes de varões de cobre.

Diâmetro ϕ [mm]	Momento resistente ω [cm ³]
6	0,021
8	0,050
10	0,098
16	0,402
20	0,785
30	2,651

Tabela 3.2: Momentos de inércia e momentos resistentes de barras de cobre.

Disposição
das barras

horizontal

vertical

Dimensão
das barras

x

BBC 75906

mm	W_x cm ³	J_x cm ⁴	W_y cm ³	J_y cm ⁴
12 x 2	0.048	0.0288	0.008	0.0008
15 x 2	0.075	0.0562	0.010	0.001
15 x 3	0.112	0.084	0.022	0.003
20 x 2	0.133	0.133	0.0133	0.00133
20 x 3	0.200	0.200	0.030	0.0045
20 x 5	0.333	0.333	0.083	0.0208
25 x 3	0.312	0.390	0.037	0.005
25 x 5	0.521	0.651	0.104	0.026
30 x 3	0.450	0.675	0.045	0.007
30 x 5	0.750	1.125	0.125	0.031
40 x 3	0.800	1.600	0.060	0.009
40 x 5	1.333	2.666	0.166	0.042
40 x 10	2.666	5.333	0.666	0.333
50 x 5	2.080	5.200	0.208	0.052
50 x 10	4.160	10.400	0.833	0.416
60 x 5	3.000	9.000	0.250	0.063
60 x 10	6.000	18.000	1.000	0.500
80 x 5	5.333	21.330	0.333	0.0833
80 x 10	10.660	42.600	1.333	0.666
100 x 5	8.333	41.660	0.4166	0.104
100 x 10	16.660	83.300	1.666	0.833
120 x 10	24.000	144.000	2.000	1.000
160 x 10	42.600	341.300	2.666	1.333
200 x 10	66.600	666.000	3.333	1.660

3.3.2 - Ressonância no Barramento

As barras têm uma frequência própria de vibração que, se for próxima da frequência da rede ou da sua 1ª harmónica, poderá originar o fenómeno de ressonância e consequentemente esforços susceptíveis de provocar a rotura do material.

As frequências próprias do barramento a evitar serão:

- $50 \pm 20\% = [40; 60]$ Hz
- $100 \pm 10\% = [90; 110]$ Hz

Os comprimentos da barra que podem provocar a ressonância da mesma e que devem ficar interditos são calculados por:

$$l = \sqrt[4]{\frac{E J k^2}{m f_0^2}} \quad (3.12)$$

Sendo:

l = Distância entre apoios da barra [m]

E = Módulo de Young do material [Kg/cm²] = 1 250 000 kg/cm² para o cobre

J = Momento de inércia da secção das barras [cm⁴]

k = Factor de forma e de fixação das barras aos apoios, cujo valor para ligações rígidas é de 112

m = Peso de 1cm de barra [kg/cm]

f_0 = Frequência própria da barra [Hz]

3.4 – CABOS DE MÉDIA TENSÃO

Designam-se por cabos de média tensão, os cabos cuja tensão estipulada é superior a 1kV e menor ou igual a 18/30kV.

Tipicamente os cabos de média tensão utilizados são do tipo XHIV, isolados a polietileno reticulado, camadas semicondutoras interior e exterior, condutores rígidos multifilares de cobre, ecrã individual constituído por fita de cobre e bainha exterior de cor preta.

Os cabos de média tensão são empregues nas ligações entre as celas de protecção e os transformadores de potência e entre diferentes postos de transformação. A ligação destes cabos aos equipamentos faz-se por pontas de fim de cabo executados com acessórios e fichas de encaixe do tipo termo-retráctil.

Os cabos de média tensão são dimensionados atendendo à energia dissipada pela corrente de curto-circuito antes da actuação das protecções, com a consequente elevação da temperatura.

Assim e de acordo com o art.º 580 do RSIUEE, a secção será determinada por:

$$S = \frac{I_{cc} \sqrt{t}}{K} \quad (3.13)$$

Sendo:

S = Secção dos condutores de fase [mm²]

I_{cc} = Intensidade de curto-circuito trifásico simétrico [kA]

t = Tempo de actuação das protecções [s]

K = constante cujo valor é

- 115 para condutor de cobre isolado a PVC
- 135 para condutor de cobre isolado a borracha ou polietileno rectificado
- 74 para condutor de alumínio isolado a PVC
- 87 para condutor de alumínio isolado a borracha ou polietileno rectificado

4 – COMPENSAÇÃO DO FACTOR DE POTÊNCIA

4.1 – GENERALIDADES

A grande parte dos receptores eléctricos absorve da rede energia reactiva. Esta constitui uma carga adicional nas centrais produtoras, linhas de transporte e nos transformadores das subestações, tendo implicações na estabilização da tensão, aumentando a queda de tensão e as perdas de potência.

Pelos motivos enunciados as companhias distribuidoras de energia eléctrica impõem valores mínimos aceitáveis para o factor de potência. A compensação de um factor de potência da instalação torna-se assim importante na medida em que o consumo excessivo de energia reactiva é penalizado.

Actualmente em Portugal, e de acordo com o tarifário publicado pela ERSE - Entidade Reguladora dos Sistemas Energéticos, o valor a partir do qual se penaliza o consumo de energia reactiva corresponde ao factor de potência de 0,928 ($\text{tg } \varphi = 0,4$).

A compensação do factor de potência é habitualmente realizada por três métodos, conforme ilustrado na figura 4.1:

- Compensação individual, através da colocação de condensadores directamente ligados a receptores individualizados fortemente indutivos, como por exemplo nas lâmpadas de descarga ou junto a motores eléctricos;
- Compensação centralizada, através da colocação de baterias de condensadores, que serão instaladas como parte do quadro geral de baixa tensão do Posto de Transformação;
- Compensação em grupo, através da colocação de condensadores directamente ligados a grupos de receptores, como por exemplo em circuitos de iluminação constituídos por lâmpadas fluorescentes.

O consumo real de energia reactiva de uma instalação é de difícil avaliação. O cálculo da potência reactiva da bateria de condensadores para a compensação é normalmente feito

com base em valores meramente previsionais do factor de potência do global da instalação ou após avaliação dos registos de consumos mensais quer da energia activa quer da reactiva verificados ao longo de um ano.

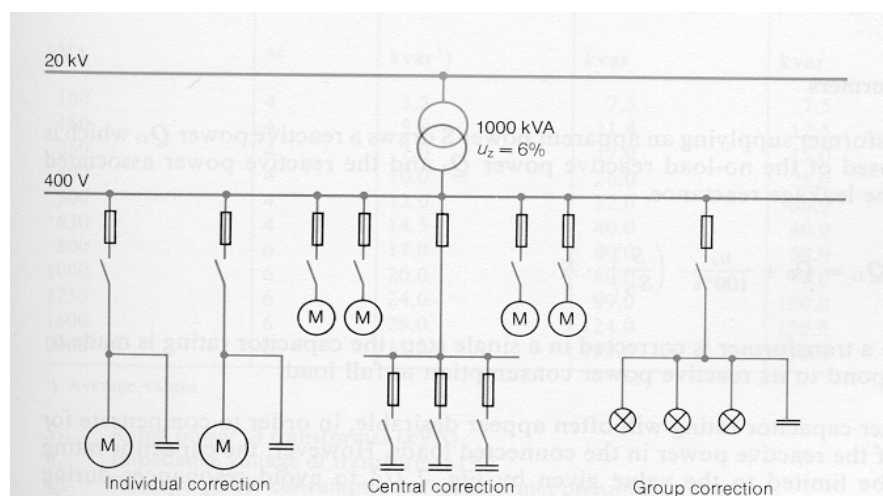


Figura 4.1: Métodos para a correcção do factor de potência.

Na tabela 4.1 indicam-se os valores mais frequentes para o $\cos \varphi$ de alguns tipos de cargas que permitem estimar o factor de potência global da instalação.

Tabela 4.1: Valores do factor de potência

Equipamentos	$\cos \varphi$
Instalações de iluminação	
- incandescente	1
- fluorescente	0,5 a 0,85
- descarga	0,9
Instalações de força motriz	0,5 a 0,9

4.2 – CONSTITUIÇÃO DE UMA BATERIA DE CONDENSADORES

4.2.1 - Constituição das Unidades Centralizadas

Uma unidade para compensação centralizada do factor de potência é tipicamente constituída por conjuntos de baterias formados por:

- Condensadores monofásicos modulares, associados a bobines anti-harmónicas, podendo agrupar-se em diversos subconjuntos designados por escalões (associação trifásica de condensadores). Cada um desses escalões dispõe de protecção individualizada constituída por fusíveis, sendo manobrado através de contactores;
- Regulador varimétrico, cuja função é a detecção do valor do factor de potência da instalação, controlando em tempo real a entrada em funcionamento dos diferentes escalões face às necessidades de compensação através do accionamento dos contactores associados a cada um dos escalões.

Estes elementos serão montados em armários metálicos próprios, com índice de protecção mínimo IP21, sendo normalmente instalados em local próximo dos quadros gerais de baixa tensão ou constituindo painéis desses mesmos quadros.

4.2.2 - Características Técnicas

As características eléctricas que permitem definir uma bateria de condensadores são:

- Potência nominal, em kVAr;
- Número de escalões e respectiva potência unitária;
- Tensão estipulada, correspondente à tensão de serviço da instalação (por ex. 400V);
- Nível de isolamento, a máxima tensão suportada pela bateria (por ex. 0,66 kV);
- Frequência da rede
- Sobrecarga admissível de corrente (por ex. 50 %);
- Tensão de alimentação das bobines dos contactores (por ex. 230 V_{AC});
- Regime de funcionamento, manual e/ou automático, através de reguladores varimétricos.

Os reguladores varimétricos funcionam normalmente a 5A - 230V/400V, indicando o valor de $\cos\varphi$, e poderão ter também como função o diagnóstico para sobrecarga de harmónicas e sobrecarga de tensão.

4.3 – DIMENSIONAMENTO DA BATERIA DE CONDENSADORES

4.3.1 – Cálculo da Potência Reactiva Nominal

O valor limite para o qual se considera a penalização do consumo de energia reactiva corresponde à $\tan\varphi = 0,4$.

Deste modo, o cálculo da potência reactiva nominal da bateria de condensadores para a compensação do factor de potência é realizado tendo em consideração o valor previsível para o factor de potência real da instalação face à sua potência activa, de modo a atingir-se aquele valor limite (4.1), conforme ilustrado na fig.4.2.

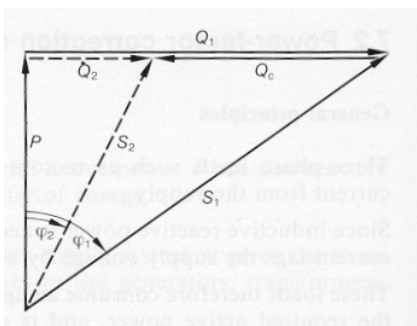


Figura 4.2: Diagrama de potência, onde Q_c é a potência reactiva necessária para a compensação da potência reactiva inicial de Q_1 para a potência reactiva final de Q_2 , sendo P a potência activa da instalação eléctrica.

$$Q = P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (4.1)$$

Sendo:

Q = potência reactiva necessária para a compensação [kVar]

P = potência activa instalada [kW]

φ_1 = ângulo de defasagem da instalação

φ_2 = ângulo correspondente ao limite de penalização

A potência reactiva nominal da bateria de condensadores corresponderá ao valor normalizado imediatamente superior ou igual ao calculado. Este valor é normalmente redistribuído por diversos escalões de potência.

4.3.2 – Dimensionamento da Protecção e do Cabo Eléctrico

A ligação de condensadores à rede eléctrica dá origem a picos de corrente no instante inicial que podem provocar o disparo intempestivo das protecções eléctricas. Deste modo torna-se necessário dimensionar quer a protecção quer o cabo de alimentação para um valor superior ao nominal. Este valor é tipicamente da ordem dos 40%.

Assim, a intensidade de corrente a considerar no dimensionamento do cabo e na selecção da protecção (disjuntor ou fusível), será:

$$I = 1,4 I_n \quad (4.2)$$

O cálculo da secção dos condutores é realizado conforme já indicado, tendo em atenção a corrente máxima admissível e a intensidade de corrente de funcionamento do órgão de protecção.

5 – SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA DE EMERGÊNCIA

5.1 – INTRODUÇÃO

A utilização de grupos geradores em edifícios, prende-se com a necessidade de alimentação de energia eléctrica, a determinadas cargas consideradas prioritárias, em caso de falha da rede pública.

Estas cargas, designadas por cargas de emergência, admitem, contudo, breves interrupções de curta duração no fornecimento de energia, sendo este tempo o necessário para o arranque do grupo de emergência.

Os grupos de emergência classificam-se em função do tempo de duração do arranque do modo seguinte:

- Grupos de **arranque normal**, aqueles em que a duração do arranque é da ordem dos 15 segundos;
- Grupos de **arranque rápido**, aqueles cujo tempo de arranque é da ordem dos 0,5 a 2 segundos.

As redes eléctricas de distribuição que têm origem nos grupos de emergência são designadas por redes de emergência.

As redes de emergência são normalmente alimentadas através da rede normal de distribuição pública. Em caso de falha desta rede, serão então alimentadas pelos grupos de emergência sendo a ligação destas redes à rede normal garantida por interruptores-inversores.

Normalmente não é permitido o paralelo dos grupos de emergência com a rede de distribuição pública.

5.2 – CARACTERÍSTICAS NOMINAIS E FUNCIONAMENTO

5.2.1 – Potência e Velocidade

Os grupos são normalmente referidos pela sua potência aparente nominal, com um factor de potência de $\cos \varphi = 0,8$ e uma temperatura ambiente máxima de 40°C.

Dependente do tipo de regime de funcionamento, assim se referencia a potência dos grupos.

- **Regime contínuo**, se o grupo suporta permanentemente 100% da carga, admitindo 10% de sobrecarga durante 1 hora num período de 12 horas;
- **Regime de emergência** (stand-by), se o grupo suporta 100% da carga não admitindo qualquer sobrecarga.

A velocidade nominal dos grupos é normalmente de 1500 rpm, para uma frequência de 50Hz. De acordo com a norma DIN 1940 a variação transitória da velocidade nominal devido ao deslastre de cargas não deve exceder 8% e no funcionamento normal não deve exceder 5%. É normal a obtenção de valores da ordem dos 3%.

5.2.2 – Condições de Funcionamento

5.2.2.1 - Arranque Automático

A ordem de arranque deve ser emitida quando se verificar uma das seguintes condições:

- Falha de tensão da rede pública;
 - Variações de tensão ou frequência da rede pública que ultrapassem os valores seguintes:
 - Tensão = 230/400V $\pm$ 10%
 - Frequência = 50Hz $\pm$ 1,5 Hz
 - A ordem de arranque deverá ser temporizada de modo a evitarem-se arranques desnecessários quando de perturbações de curta duração (tipicamente 2 a 10 s).

5.2.2.2 - Paragem

A ordem de paragem dever-se-á efectuar também automaticamente quando do restabelecimento das condições normais da rede pública em tensão e frequência, mas com temporizações ajustáveis, de modo a evitarem-se os falsos retornos de energia. As temporizações admissíveis são:

- Para o deslastre do alternador, entre 1 a 15 minutos;
- Para a paragem do motor, também entre 1 a 15 minutos.

5.3 – EQUIPAMENTOS CONSTITUINTES

5.3.1 – Grupo Motor-Alternador

Os grupos são constituídos por motores Diesel acoplados a alternadores, assentes em base comum, em perfilado de aço. São ligados por acoplamento directo, efectuado através de união elástica ou por multidisco.

O motor é tipicamente do tipo Diesel, de injeção directa, sobrealimentado, a quatro tempos, arrefecido por água em circuito fechado, com radiador à distância de ninho vertical, ou radiador incorporado.

O Alternador é trifásico, com neutro acessível, modelo protegido, autoventilado e autoexcitado, com um rendimento a plena carga da ordem dos 90%, com isolamento classe F e sistema de regulação de tensão automático electrónico.

5.3.2 - Sistema de Arrefecimento

O sistema de arrefecimento dos motores é constituído por uma rede de circulação de água com bombas e radiadores, com ventoinhas incorporadas.

Os radiadores são incorporados no motor ou, se não for possível a sua colocação junto a grelhas de ar exterior, instalados a distância.

5.3.3 - Armazenamento e Alimentação de Combustível

O sistema de armazenamento e alimentação de combustível compreende, de uma maneira geral:

- Uma cisterna de combustível com capacidade expressa em litros, que deverá ser ligada à terra;
- Um reservatório diário com capacidade colocado na central;
- Grupo electrobomba de transfega;
- Bomba manual tipo relógio;
- Tubagem de alimentação desde a boca de enchimento até à cisterna;
- Tubagem de alimentação e retorno a partir do depósito diário;
- Tubagem de transfega e descarga da cisterna ao depósito diário.

5.3.4 - Sistema de Escape

Os sistemas de escape para evacuação dos gases de combustão, apresentam diversas limitações como sejam:

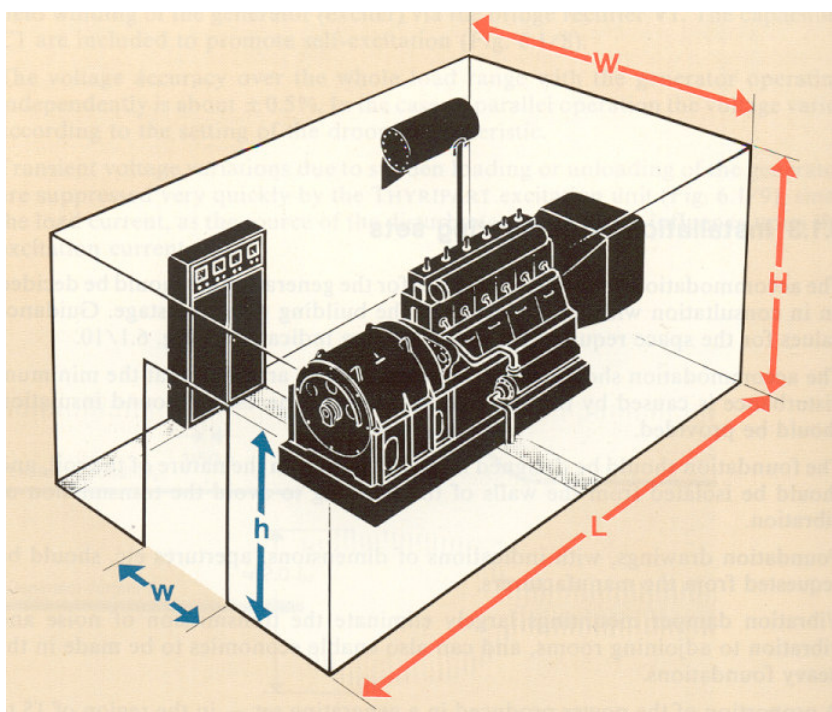
- **Térmicas** - isolamento térmico do escape, limitação de fenómenos de condensação, controlo de dilatações, utilização de materiais incombustíveis;
- **Poluição sonora** - instalação de silenciadores, insonorizarão do local, insonorizarão do grupo para menos de 30 dB(A);
- **Poluição ambiental** - evacuação de gases de escape acima das fachadas (mais de 8 m), instalação de sistemas antivibráticos.
- **Perda de carga** - dimensionamento eficaz do escape prevenindo a diminuição de potência e o aumento do consumo de combustível.

São constituídos por: ligação flexível de aço inoxidável do colector de escape à tubagem de escape, tubagem de escape, silenciador, tubagem de escape do silenciador até ao exterior com silenciador final e protecção contra entrada de chuva ou dispersador de gases quando instalado junto a grelhas de ar exterior.

5.4 – INSTALAÇÃO DOS GRUPOS

Na instalação dos grupos de emergência há a considerar os aspectos seguintes: dimensões mínimas das salas técnicas (Centrais de emergência); Isolamento acústico e anti-vibrações; sistemas acessórios de apoio à manutenção.

No que concerne ao dimensionamento das centrais de emergência podem considerar-se as dimensões mínimas propostas conforme referenciado na figura 5.1.



Potência	20 a 60 kVA	100 a 200 kVA	250 a 550 kVA	650 a 1500 kVA
L	5 m	6 m	7 m	10 m
W	4 m	4,5 m	5 m	5 m
H	3 m	3,5 m	4 m	4 m
w	1,5 m	1,5 m	2,2 m	2,2 m
h	2 m	2 m	2 m	2 m

Figura 5.1: Dimensões para a sala do grupo de emergência.

Relativamente ao isolamento acústico e antivibrações consideram-se várias acções, como sejam: o apoio dos grupos em maciços de inércia realizados em betão denso com armadura apropriada e o condicionamento antivibrático realizado com amortecedores antivibráticos, para montagem entre a base metálica do grupo e o maciço de assentamento, bem como entre o radiador e o pavimento.

No que se refere à relação com a zona exterior do edifício, o condicionamento acústico deverá ser estabelecido de modo a limitar a emissão de ruídos atendendo a que: *A diferença entre o valor do nível sonoro contínuo e valor do nível sonoro do ruído de fundo, que é excedido, num período de referência, em 95% da duração deste (L95), deve ser inferior ou igual a 10 dB (A), (Decreto-Lei nº 251/87, de 24 de Junho, Secção II "Ruídos para o exterior dos Edifícios", Artigo 14º, "Níveis Sonoros")*.

Como sistemas de apoio à manutenção poderá prever-se a instalação de *Sistema de Elevação* e auxílio de montagem. Este é constituído por viga metálica em que corre um cadernal, suportado em pórtico adequado.

5.5 – ELEMENTOS PARA O DIMENSIONAMENTO

Apresentam-se alguns parâmetros base necessários á definição das centrais de emergência, como sejam:

- Potência total necessária para a rede de emergência; Este valor permitirá definir o número de grupos necessários e a sua potência unitária nominal.
- Intensidade de corrente de curto-circuito; Permite definir o valor da regulação da protecção electromagnética do disjuntor do alternador.
- Autonomia de funcionamento do grupo; Permite definir a capacidade da cisterna de combustível.

5.5.1 – Potência Nominal do Grupo

A determinação da potência do grupo deve ser realizada ponderando-se os aspectos seguintes:

- Potência total das cargas de emergência;
- Coeficientes de simultaneidade;

- Valor estimado do factor de potência;
- Evolução previsível da carga;
- Comparação dos aspectos técnico-económicos face ao grau de fiabilidade pretendido para avaliação da opção de solução por um ou vários grupos em paralelo;
- Intensidade de corrente de arranque dos motores de valores de potência mais elevados.

Relativamente a este último aspecto refira-se que: a potência do grupo deve ser superior em 1,8 a 2,5 vezes a potência nominal do motor de maior corrente de arranque de modo a permitir o seu arranque sem causar instabilidade no funcionamento do grupo gerador.

A potência do motor de accionamento do alternador será determinada pela expressão:

$$P_M = \frac{P_A}{\eta_A \eta_M} + P_{AUX} \quad (5.1)$$

Sendo:

P_A = Potência activa do alternador

P_{AUX} = Potência mecânica absorvida pelos auxiliares do motor (Ventilação, gerador de carga das baterias, bombas, etc.)

η_A = Rendimento do alternador

η_M = Rendimento da transmissão mecânica

5.5.2 – Corrente de Curto-circuito

A intensidade de corrente de curto-circuito trifásica I_{cc} , em período transitório é definida pela expressão (5.2):

$$I_{cc} = \frac{I_{NG}}{X'_d} \quad (5.2)$$

Onde:

I_{NG} = Intensidade de corrente nominal do alternador

X'_d = Reatância transitória expressa em % (entre 20% a 30%)

5.5.3 – Capacidade da Cisterna

A capacidade da cisterna é determinada em função da autonomia pretendida e do consumo de combustível do grupo seleccionado (5.3).

$$V = C t \quad (5.3)$$

Sendo:

V = Capacidade da cisterna ou depósito [l]

C = Consumo [l/h]

t = Autonomia do grupo [h]

A tabela 5.1 dá-nos algumas características desses grupos e entre elas o seu consumo em combustível.

Tabela 5.1: Características de grupos motor-gerador*, de 1500 rpm, 50 Hz, 400/230 V (Extraído de catálogo de Geradores Dorman).

Potência [kVA]	Corrente [A]	Consumo [l/h]	Dimensões [m]	Peso [kg]
40	58	10	1,7 x 0,8 x 1,3	920
50	72	12	1,8 x 0,8 x 1,5	1000
100	145	24	2,5 x 0,93 x 1,35	1400
150	217	34	2,6 x 0,96 x 1,5	1530
180	260	39	2,75 x 1,1 x 1,5	1720
200	289	43	2,8 x 1,2 x 1,55	2050
250	361	55	2,8 x 1,2 x 1,55	2300
300	434	72	3,5 x 0,9 x 1,99	3250
350	506	75	3,6 x 0,9 x 1,99	3550
400	578	83	3,6 x 0,9 x 1,99	3650
515	744	111	3,65 x 1,3 x 2,0	4700
630	910	132	3,75 x 1,3 x 2,0	4800
760	1098	157	3,75 x 1,3 x 2,1	6300
850	1228	180	4,3 x 1,9 x 2,5	7100
1000	1445	233	4,65 x 1,8 x 2,8	9450

6 – SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA DE SOCORRO

6.1 - INTRODUÇÃO

Determinado tipo de cargas eléctricas apresenta exigências no nível de qualidade do serviço de fornecimento de energia eléctrica, quer quanto aos valores de tensão e frequência e seu grau de flutuação, quer quanto à não admissão de qualquer tempo de interrupção. Estão neste caso as cargas ligadas a sistemas informáticos, entre outras.

Para alimentação destas cargas instalam-se sistemas estáticos de alimentação de energia sem interrupção (UPS) que darão origem a uma rede de cargas críticas.

6.2 – CONSTITUIÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UPS

6.2.1 – Elementos constituintes

Estas unidades são tipicamente constituídas por: Rectificador/carregador, Ondulador, Comutador estático, Baterias e Microprocessador de Controlo; podendo-se associar, também: Transformador de Isolamento e By-pass Manual. Como exemplo refira-se a UPS cuja constituição é a esquematizada na figura (6.1).

Rectificador/carregador

Constituído por uma ponte de tirístores inteiramente controlada, transforma a corrente alternada em corrente contínua para alimentação do ondulador e para a carga da bateria.

Ondulador

Constituída por uma ponte de transístores que realiza a ondulação da tensão contínua (PWM - pulse with modulation), reconstituindo a tensão alternada.

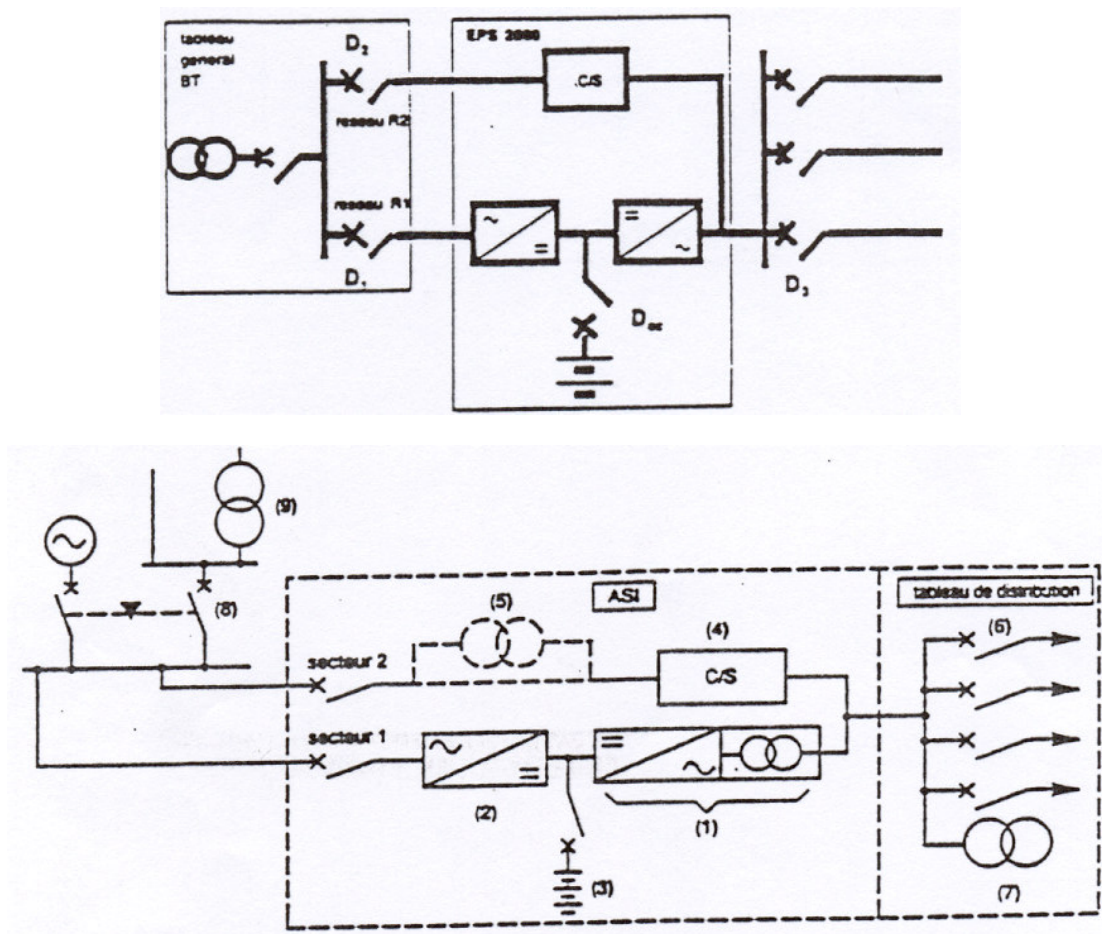


Figura 6.1: Esquema típico de uma unidade estática de alimentação de energia sem interrupção.

Comutador estático (By-pass estático)

Constituído por tirístores ligados em oposição e controlados de modo a efectuarem a transferência automática da carga em caso de falha da cadeia rectificador-ondulador.

Baterias

Constituídas por acumuladores ácidos com recombinação de gás ou acumuladores alcalinos, ligadas em tampão e que alimentam directamente o ondulador em caso de falha da rede de alimentação e que na situação de funcionamento normal facilitam a estabilização da tensão.

Microprocessador de Controlo

Informa sobre o estado da carga das baterias, da rede de alimentação e da situação dos diversos componentes electrónicos. Analisa os dados e regula: a carga das baterias, a comutação das pontes rectificadoras e das pontes onduladoras, controla o comutador estático.

Transformador de Isolamento

Separa galvanicamente a rede de alimentação eléctrica da rede de cargas assistidas pela UPS.

By-pass manual

Constituído por disjuntor e respectivo cabo de alimentação directo à carga. Permite efectuar a transferência manual da carga em caso de anomalia da UPS.

6.2.2 – Regimes de Funcionamento

Em **Regime normal**; o rectificador alimenta o ondulador e este garante a alimentação à carga. Em caso de **Falta de tensão na rede normal**; a bateria alimenta o ondulador durante o tempo de autonomia. Quando se dá o **Retorno da tensão à rede normal**; o rectificador carrega a bateria e alimenta o ondulador que por sua vez garante a alimentação à carga.

Se se verificar **Sobrecarga ou defeito interno**; o comutador estático curto-circuita o ondulador, o rectificador e a bateria e a alimentação é feita directamente pela rede normal.

Para as situações de **Manutenção da UPS**; a unidade é desligada sendo a carga alimentada por intermédio do by-pass manual.

6.3 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Tipicamente as características principais que definem estas unidades são as indicadas na tabela 6.1:

Tabela 6.1: Características principais de unidades UPS.

Potência nominal [kVA]	5; 10; 20; 50; 100; 160 ; 200; 250; 315; 400; 500; 630
Tensão da rede de entrada [V] - Monofásica - Trifásica	230 ± 10 % 400/230 ± 10 %
Frequência de entrada [Hz]	50 Hz ± 5 %.
Tensão da rede de saída [V] - Monofásica - Trifásica	230 ± 1 % 400/230 ± 1 %
Frequência de saída [Hz]	50 Hz ± 0,5 %.
Ondulação de tensão de saída (Ripple)	≈ 2 % da tensão nominal
Autonomia de funcionamento da bateria	10, 15, 20 ou 30 minutos
Taxa de distorsão harmónica - THD	< 4%
Factor de potência	0,8 a 1
Supressão de rádio-interferências	Grau N (VDE 0875)
Temperatura ambiente máx. [°C]	40
Nível de Ruído	< 60 dB

6.4 – ELEMENTOS DE DIMENSIONAMENTO

A selecção das Unidades Estáticas de Alimentação de Energia sem Interrupção e o dimensionamento dos cabos de alimentação e correspondentes protecções terá como base os aspectos seguintes:

- Potência total necessária para a rede de cargas críticas; Este valor permitirá definir o número de unidades necessárias e a sua potência unitária nominal;
- Autonomia de funcionamento da unidade; Permite definir a capacidade das baterias.

6.4.1 – Potência Nominal das UPS

A determinação da potência da UPS deve ser realizada ponderando-se os aspectos seguintes:

- Potência total das cargas críticas;
- Coeficientes de simultaneidade;
- Evolução previsível da carga;
- Comparação dos aspectos técnico-económicos face ao grau de fiabilidade pretendido para avaliação da opção de solução por uma ou várias unidades em paralelo.

Atendendo ao tipo das cargas e ao seu grau de exigência quanto a não interrupções no fornecimento de energia, considera-se frequentemente o valor 1 para o coeficiente de simultaneidade.

6.4.2 – Protecção e Alimentações Eléctricas

As alimentações às unidades UPS podem ter várias configurações como se ilustra nas figuras da página seguinte:

- Alimentações independentes, uma para o rectificador-ondulador e outra para o comutador estático;
- Uma única alimentação para rectificador-ondulador e comutador estático. Esta, sendo uma solução mais económica, é no entanto muito menos fiável, pelo que a sua utilização deverá ser bem ponderada.

No caso de alimentações independentes o dimensionamento das protecções e dos cabos será diferente para cada uma dessas alimentações. Assim:

- Para a alimentação ao comutador estático o dimensionamento é realizado em função da corrente nominal da UPS;
- Para a alimentação ao ramo rectificador-ondulador, será necessário atender ao rendimento da unidade e, ao facto de poder haver simultaneidade da carga da bateria com o fornecimento da potência nominal à carga.

Neste último caso, torna-se necessário dimensionar a alimentação para um valor superior ao nominal (da ordem dos 40%).

Assim a intensidade de corrente a considerar no dimensionamento do cabo e na selecção da protecção (disjuntor ou fusível), será:

$$I = 1,4 I_n \quad (6.1)$$

Esta observação é igualmente válida para o caso em que a configuração da ligação prevê uma única alimentação.

BIBLIOGRAFIA

L. M. Vilela Pinto; (1993), MG CALC, Merlin Gerin

L. M. Vilela Pinto; (2000), Técnicas e Tecnologias em Instalações Eléctricas, Certiel

Manual de Instalações Eléctricas; (1982), Ed. Ordem dos Engenheiros.

RSICEE; (1974), “Regulamento de Segurança das Instalações Colectivas de Edifícios e Entradas”, Direcção Geral de Energia.

RSIUEE; (1974), “Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Eléctrica em Baixa Tensão”, Direcção Geral de Energia.

RSSPTS; (1960), “Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e de Seccionamento”, Direcção Geral de Energia.

Seip; (1987), Electrical Installations Handbook, Siemens/Wiley & Sons.